

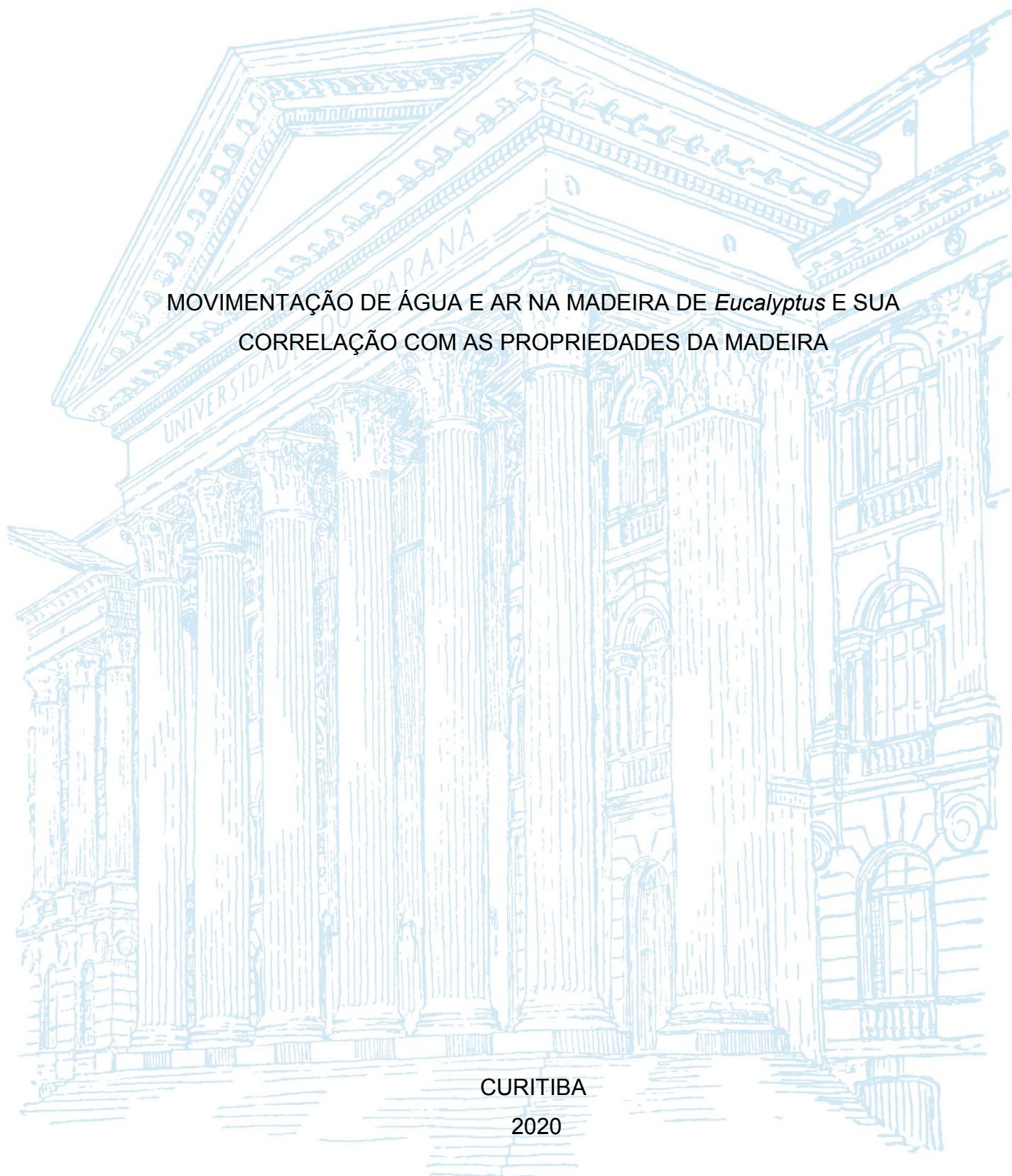
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LINÉIA ROBERTA ZEN

MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA E AR NA MADEIRA DE *Eucalyptus* E SUA
CORRELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

CURITIBA

2020



LINÉIA ROBERTA ZEN

MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA E AR NA MADEIRA DE *Eucalyptus* E SUA
CORRELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha
Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Zen, Linéia Roberta

Movimentação de água e ar na madeira de *Eucalyptus* e sua correlação
com as propriedades da madeira / Linéia Roberta Zen. - Curitiba, 2020.
155 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 23/10/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Secagem. 2. Madeira - Umidade. 3. Eucalipto. 4. Lignina.
5. Madeira - Química. 6. Teses. I. Klitzke, Ricardo Jorge. II. Rocha, Márcio
Pereira da. III. Monteiro, Thiago Campos. IV. Universidade Federal do
Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.847

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1180



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 4000101601SP0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de LINÉIA ROBERTA ZEN intitulada: **MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA E AR NA MADEIRA DE *eucalyptus* E SUA CORRELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA**, sob orientação do Prof. Dr. RICARDO JORGE KLITZKE, que após terem Inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as Indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 23 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica
26/10/2020 09:24:21.0
RICARDO JORGE KLITZKE
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
23/10/2020 17:23:46.0
PEDRO HENRIQUE GONZALEZ DE CADEMARTORI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
26/10/2020 11:38:57.0
ALAN SULATO DE ANDRADE
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
26/10/2020 10:20:35.0
RAQUEL MARCHESAN
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE TOCANTINS)

Assinatura Eletrônica
26/10/2020 09:58:32.0
EDY EIME PEREIRA BARAÚNA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS)

A todas as mulheres guerreiras, mães, professoras, estudantes e cientistas,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de todas as coisas. Também agradeço a espiritualidade por me guiar e me dar luz.

A CAPES, pela concessão da bolsa, e a Universidade Federal do Paraná, por proporcionar a realização deste doutorado.

Ao prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke, pela orientação, oportunidade e ensinamentos ao longo dos anos.

Aos professores Dr. Márcio Pereira da Rocha e Dr. Thiago Campos Monteiro, pela coorientação e ensinamentos.

A Klabin S.A, pelo fornecimento dos clones, em especial a Marco Aurélio Figura e a toda equipe de funcionários e estagiários, pelo suporte e coleta das árvores.

A empresa Planeta Madeiras, em especial a André Jock, pelo desdobro do material.

A Mauro Tavora, técnico do laboratório de usinagem da madeira, pela confecção de todos os corpos de prova. Aos técnicos, Eliane, Mariuci Torres, Gizele Brochini, Letícia Pirez, pela ajuda fornecida durante as coletas de dados e pela amizade.

Aos professores, Dr. Alan Sulato de Andrade e Dr. Umberto Klock, pela ajuda enorme com as análises químicas e pelo fornecimento do laboratório de química da madeira. A professora Dra. Silvana Nisgoski, pela ajuda com as coletas na anatomia da madeira. Ao professor Dr. Pedro Cademartori, pela ajuda na confecção dos equipamentos para as análises de permeabilidade ao ar.

Aos secretários de Pós graduação, Reinaldo e Davi e a Miria, pela prestação de serviços na secretaria e no departamento.

Ao colega de graduação e professor, Dr. Alexandre Belling, pela enorme ajuda com as análises estatísticas.

Ao meu psicólogo, Dhyone Schinemann, por me dar todo o suporte mental ao longo desses quatro anos. O seu trabalho é excepcional.

A minha amiga da vida, Dra. Jaçanan Eloisa de Freitas Milani, muito obrigada por sempre estar ao meu lado e me dar forças em todos os momentos da minha vida, você mora em meu coração.

Aos amigos de pós-graduação, Eraldo B. Junior, pelas inúmeras ajudas com as propriedades químicas, a Bruna Cabral, pela ajuda e amizade, que já é muito especial, a Vinicius Shucezter, pela nossa amizade de longa data e momentos de descontração. A Ana Paula Namikata, pela amizade e companheirismo.

Aos colegas e amigos de Laboratório de secagem: Thiago Cardoso Douglas E. Carvalho, Tarcila Lins, Jean Guerra, Thiago Magalhães, Karine Bellon, Morgana C. França, pelas inúmeras ajudas na realização desta tese.

Aos estagiários do laboratório de secagem: Winicius schaeffer, João Marcelo Kaminski, Matheus H. Bini e Taglis, pela enorme ajuda com todas as coletas de dados e confecção dos corpos de prova, serei eternamente grata a vocês.

Aos meus pais Lairton Zen, Maria Elizabete Zen e a minha irmã Cátia Raquel Zen por todo amor, ajuda, orações, apoio e educação que me deram em toda minha vida e ao longo dessa jornada. Amo muito vocês

Aos meus grandes amigos de Curitiba: Gabriela Duallibe, Vicente Bonfim, Daniela Santos, Matheus Zavadinack, Nati e Thales, muito obrigada pelos conselhos, paciência e carinho, vocês são muito especiais.

Ao meu namorado (marido), Murilo Zavadinack, pelo amor, carinho, incentivo, paciência, companheirismo e por me mostrar que sou capaz. Te amo muito.

A família Zavadinack pela ajuda, carinho e por serem minha segunda família. Em especial, a minha sogra Lenira, por quem tenho muita admiração.

A minha filha canina, Margot, por ser meu refúgio de amor incondicional.

Aos amigos queridos de trabalho que já moram no meu coração: Gisele, Renato, Renata e Sidnei. Muito obrigada.

A todas as pessoas que, de alguma forma, foram importantes para a realização desse ciclo na minha vida.

A fórmula da felicidade e do sucesso é
simplesmente ser você mesmo da maneira
mais sincera que puder
(Meryl Streep)

RESUMO

As relações água madeira são objeto de estudo a mais de um século e no gênero *Eucalyptus* essas relações são estreitamente complexas, principalmente por sua difícil secagem, que é atribuído principalmente a sua baixa permeabilidade, aliado a sua estrutura anatômica, como as tiloses que obstruem o fluxo de água e ar na madeira. Além disso sua estrutura química também exerce influência na movimentação de água na madeira e deve ser aprofundadas. Nesse sentido o objetivo geral deste estudo foi compreender a movimentação da água e ar na madeira de *Eucalyptus* e sua relação com as propriedades da madeira. Foram selecionados três clones de *Eucalyptus*, sendo dois híbridos *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (clone 1) *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3) e um *E. saligna* (clone 2), todos com oito anos de idade. De cada clone, foram selecionadas três árvores. Três toras com 2,70 m cada foram retiradas da árvore, sendo na base, meio e topo do fuste. Os discos referentes a cada posição longitudinal (base DAP e topo) também foram coletados. Os discos foram utilizados para determinar porcentagem de cerne, teor de umidade inicial e massa específica básica. Semiblocos foram produzidos das toras, para confecção dos corpos de prova. Porções menores de 360 mm de comprimento foram obtidas para confecção dos corpos de prova para propriedades físicas, químicas e análise do fluxo de água. Também foram selecionadas na madeira dos três clones, porções de 50 mm de comprimento para confecção de amostras para análise de porcentagem de tiloses e ensaios da permeabilidade ao ar atmosférico no sentido longitudinal do fuste das árvores. As análises químicas da madeira foram realizadas conforme normas técnicas, utilizando-se diversos solventes para estimar os diferentes componentes químicos do lenho. As taxas de secagem foram avaliadas por meio da secagem drástica, utilizando temperatura de 100°C. Amostras nos três eixos ortotrópicos da madeira foram ensaiadas e as taxas de secagem em cada eixo, as curvas de secagem e as correlações de cada taxa com as variáveis químicas foram avaliadas. Os resultados para a porcentagem de cerne mostram que o clone 1 apresentou maior percentual (71, 54%). O mesmo clone apresentou maior massa específica básica (0,569g/cm³), aparente (0,640g/cm³) e apresentou maior valor médio nas contrações tangenciais (10,28%), radiais (4,46%) e volumétricas (15,96%) em relação aos outros clones. Já no que se refere ao teor de umidade inicial, a madeira do clone 3 apresentou maior valor médio (119,67%). Nas propriedades químicas, de maneira geral, a maior quantidade de extrativos em diferentes solventes foi para os extrativos totais, seguido da água quente, etanol e clorofórmio, em que os maiores valores foram encontrados na base da árvore. Para a permeabilidade ao ar, a madeira do clone 3 advinda da base denotou maior valor médio (17,37 cm³.cm⁻¹.atm⁻¹.s⁻¹). A menor quantidade de tilose no clone 3 influenciou na maior permeabilidade dessa espécie. Para as curvas de secagem nas direções ortotrópicas, a maior perda de água foi encontrada para o eixo longitudinal seguido do radial e tangencial. O mesmo comportamento foi obtido nas taxas de secagem. Nas taxas de secagem drástica na direção longitudinal e radial, a maior taxa de água total foi para madeira do clone 1 (0,059 e 0,035 g.cm⁻².h⁻¹, respectivamente). Na direção tangencial, a maior taxa de secagem total foi representada pela madeira do clone 2. As correlações entre as propriedades químicas com as taxas de secagem para as direções ortotrópicas e por clone apresentaram resultados satisfatórios, principalmente quanto aos extrativos em diferentes solventes. Os extrativos em etanol, clorofórmio, água quente e água fria se correlacionaram com a taxa da água total e água livre, sendo que um aumento na quantidade desses extrativos pode reduzir o fluxo de água da madeira de eucalipto. A lignina apresentou correlação somente com a madeira do clone 2, em que o aumento do teor de lignina nessa espécie pode reduzir a taxa da água livre. Para holocelulose, a madeira do clone 2 demonstrou correlação inversa com a taxa da água de impregnação e taxa da água total. Com relação ao teor de cinzas, o aumento nesse teor pode favorecer a taxa de secagem na madeira de eucalipto. Ainda, foram apresentados modelos significativos para essas correlações para madeira de cada clone e eixo ortotrópico, mostrando bons coeficientes de determinação para os modelos. De maneira geral, os clones evidenciaram relações entre a movimentação da água e ar com os extrativos e tiloses no lenho, além disso a permeabilidade tem grande influência na secagem

da madeira de eucalipto, onde foi possível compreender a importância dessas substâncias na constituição química da madeira e que pode contribuir e influenciar no fluxo de água da madeira de eucalipto.

Palavras-Chave: dessorção, extrativos, correlação, secagem, tiloses, permeabilidade.

ABSTRACT

Water-wood relationships have been the subject of study for over a century and in the *Eucalyptus* genus these relationships are closely complex, mainly due to their difficult drying, which is mainly attributed to their low permeability, combined with their anatomical structure, such as the tyloses that obstruct the flow of water and air in the wood. In addition, its chemical structure also influences the movement of water in the wood and must be deepened. In this sense, the objective of this study was to understand the water and air movements in *Eucalyptus* wood and its relation with wood properties. Three *Eucalyptus* clones were selected: one *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* hybrid (clone 1), one *E. grandis* x *E. camaldulensis* hybrid (clone 3) and one *E. saligna* clone (clone 2). All of them were eight years old. Three trees were selected from each clone. From each tree, we collected three 2.70m logs from each longitudinal position in the tree stem (base, middle and top). Disks corresponding to each longitudinal position were also collected. The discs were used to determine the percentage of heartwood, initial moisture content and basic specific gravity. The logs were sawed into central semi-blocks. Each semi-block was subdivided into smaller 360mm pieces in order to make samples for the chemical, physical properties and water flow analysis. We also selected 50mm pieces to make air permeability samples. All samples were analyzed in the longitudinal direction of the tree stem. The air permeability and the percentage of tyloses in the wood of the three clones were evaluated. The wood chemical analysis were performed according to technical standards, using a set of solvents to estimate the different chemical components of wood. Drying rates were estimated by means of drastic drying applying a temperature of 100°C. The samples were tested at the three orthotropic axis. For each axis, we evaluated the drying rates, drying curves and the correlations of each rate with the chemical variables. The results for the heartwood percentage show that clone one higher values (71.54%). The same clone presented higher values of basic specific gravity (0.569g/cm³), bulk density (0.640g/cm³) and for the retractability it presented higher mean value in the tangential (10.28%), radial (4.46%) and volumetric (15.96%) contractions. When it comes to the initial moisture content, clone 3 presented higher mean value (119.67%). In the chemical properties, in general, the largest amount of extractives in different solvents was for the total extractives, followed by hot water, ethanol and chloroform, where the highest values were found at the base of the tree. For the air permeability, the wood from clone 3 showed higher mean value (17.37 cm⁻³.cm⁻¹.atm⁻¹.s⁻¹), found at the base of the stem. The lower amount of tyloses in clone 3 influenced the higher permeability of this species. For the drying curves in the orthotropic directions, the greatest water loss was found in the longitudinal axis, followed by the radial and tangential axes. The same behavior was observed in the drying rates. For the drastic drying rates in the longitudinal and radial directions, the highest total water flow rate was found in the wood from clone 1 (0.059 and 0.035 g.cm⁻².h⁻¹, respectively). In the tangential direction, the highest total drying rate was found in the wood from clone 2. The correlations between the chemical properties and the drying rates for the orthotropic directions and per clone presented satisfying results, specially regarding the extractives in different solvents. The extractives in ethanol, chloroform, hot water and cold water correlated with the total and free water flow rates, as an increase in the amount of these extractives can reduce the water flow in eucalyptus wood. The lignin showed correlation only with the wood from clone 2, in which an increase in the lignin content in the species can reduce the free water flow rate. For the holocellulose, the wood from clone 2 showed an inverse correlation with the bound and total water flow rates. Regarding the ash content, its increase may favor the drying rate in eucalyptus wood. Also, we presented significant models for these correlations and the wood of each clone and orthotropic axis, showing good determination coefficients for the models. Overall, the clones showed relationships between the movement of water and air with extracts and tyloses in the wood, in addition, permeability has a great influence on the drying of eucalyptus wood, where it was possible to understand the importance of these substances in the chemical constitution of wood and that can contribute and influence the water flow of eucalyptus wood.

Keywords: desorption, extractives, correlation, drying, tyloses, permeability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 2-ESTRUTURA MOLECULAR DA CELULOSE NA MADEIRA	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 3- MOVIMENTO DE ESCOAMENTO LONGITUDINAL PARA DICOTILEDÔNEAS COM VASOS ABERTOS	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 4-ESQUEMA DO MOVIMENTO DA ÁGUA NOS CAPILARES DA MADEIRA ...	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 5-ESQUEMA DO FLUXO DE ÁGUA DA MADEIRA NA DIREÇÃO LONGITUDINAL	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 6-ESQUEMA DO APARATO PARA MEDIÇÃO DA PERMEABILIDADE AO AR E AO LÍQUIDO	40
FIGURA 7-CORTE TRANSVERSAL DO XILEMA SECUNDÁRIO, COM PAREDE CELULAR LIGNIFICADA NA PARTE CORADA EM ROSA	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 8-COLETA DOS DISCOS E TORAS PARA DESDOBRIO DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE Eucalyptus.....	49
FIGURA 9-REDUÇÃO DO SEMI-BLOCO CENTRAL EM PEÇAS PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	50
FIGURA 10-REPROCESSAMENTO DAS PORÇÕES PARA CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE Eucalyptus	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 11-OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA TODAS AS ANÁLISES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE EUCALYPTUS	51
FIGURA 12-METODOLOGIA PARA QUANTIFICAR POROS E POROS COM TILOSES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE Eucalyptus.....	56
FIGURA 13-CORPOS DE PROVA PARA OBTENÇÃO DA PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE Eucalyptus	57
FIGURA 14-PROCESSO DE DESOBSTRUÇÃO DOS POROS DOS CORPOS DE PROVA PARA MENSURAR A PERMEABILIDADE AO AR	58
FIGURA 15-PERMEÂMETRO PARA MENSURAR A PERMEABILIDADE AO AR NO SENTIDO LONGITUDINAL DOS TRÊS CLONES DE Eucalyptus.	Erro! Indicador não definido.

FIGURA 16-ESQUEMA DOS CORPOS DE PROVA UTILIZADOS PARA DETERMINAR O FLUXO DE ÁGUA NAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i>	60
FIGURA 17-POROSIDADE DA MADEIRA E TILOSES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> , NO SENTIDO BASE-TOPO.....	90
FIGURA 18- CURVA DE SECAGEM DAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DE <i>E. urophylla x E.grandis</i>	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 19-CURVA DE SECAGEM DAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DE <i>E. saligna</i>	95
FIGURA 20-CURVA DE SECAGEM DAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DE <i>E.grandis x E. camaldulensis</i>	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 21-CURVAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES NO SENTIDO BASE- TOPO EM CADA EIXO ORTOTRÓPICO.....	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 22-TAXAS DE SECAGEM DOS BLOCOS PARA AS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DOS CLONES <i>E. urophylla x E.grandis</i> , <i>E. saligna</i> E <i>E. grandis x E. camaldulensis</i>	98
Figura 23-RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE SECAGEM DA ÁGUA LIVRE NO SENTIDO LONGITUDINAL E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 24-RELAÇÃO SOLUBILIDADE EM ÁGUA FRIA NO SENTIDO LONGITUDINAL E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 25-RELAÇÃO TEOR DE CINZAS NO SENTIDO RADIAL E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 26-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS TOTAIS NO SENTIDO TANGENCIAL E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 27-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS EM ETANOL E O FLUXO DE ÁGUA LIVRE E ÁGUA TOTAL NA MADEIRA DE <i>E. Urophylla x E. Grandis</i>	110
FIGURA 28-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS EM ETANOL E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TAXT) NA MADEIRA DE <i>E. saligna</i>	111
FIGURA 29-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS E CLOROFÓRMIO E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TAXT) NO EIXO RADIAL, NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	112

FIGURA 30-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS EM ÁGUA QUENTE O E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TAXT) NO EIXO LONGITUDINAL, NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	114
FIGURA 31-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS TOTAIS O E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TAXT) NO EIXO TANGENCIAL, NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	115
FIGURA 32-RELAÇÃO ENTRE FLUXO TXAT E TXAI, E HOLOCELULOSE NA MADEIRA DO <i>E. saligna</i>	117
FIGURA 33-RELAÇÃO ENTRE TEOR DE CINZAS E O FLUXO DA TXAI NO EIXO LONGITUDINAL E RADIAL NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-VALORES MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE CERNE, PARA OS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> , NO SENTIDO LOGITUDINAL DAS ÁRVORES.....	63
GRÁFICO 2- VALORES MÉDIOS DO TER DE UMDIADE INICIAL, PARA OS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> , NO SENTIDO LOGITUDINAL DAS ÁRVORES.....	65
GRÁFICO 3- VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE PARA OS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> , NO SENTIDO LOGITUDINAL DAS ÁRVORES.....	67
GRÁFICO 4-- VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	70
GRÁFICO 5-PORCENTAGEM DE VASOS E TILOSES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	89
GRÁFICO 6-REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA PERMEABILIDADE AO AR NO SENTIDO BASE-TOPO PARA A MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 2-CLASSIFICAÇÃO DOS EXTRATIVOS NA MADEIRA	31
TABELA 3-INFORMAÇÕES SILVICULTURAIS DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	48
TABELA 5-ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, LONGITUDINAL, VOLUMÉTRICA E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO PARA OS TRÊS CLONES	72
TABELA 6-VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, LONGITUDINAL, VOLUMÉTRICA E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE TRABALHOS ENCONTRADOS NA LITERATURA PARA ESPÉCIES DO GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	74
TABELA 7-PORCENTAGEM MÉDIA DE EXTRATIVOS NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> EM DIFERENTES SOLVENTES.....	77
TABELA 8-TEORES DE LIGNINA INSOLÚVEL, SOLÚVEL E LIGNINA TOTAL PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	82
TABELA 9-TEOR DE HOLOCELULOSE PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	85
TABELA 10-TEOR DE CINZAS PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	Erro! Indicador não definido.
TABELA 11-VALORES MÉDIOS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO AR NO SENTIDO BASE-TOPO PARA MADEIRA OS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	87
TABELA 12-TEOR DE UMIDADE INICIAL E TEMPO, E PONTO DE SATURAÇÃO DAS FRIBRAS NA MADEIRA DOS BLOCOS DOS CLONES DE <i>Eucalyptus</i>	92
TABELA 13-TAXAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> NA DIREÇÃO LONGITUDINAL	101
TABELA 14-TAXAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> NA DIREÇÃO RADIAL.....	105
TABELA 15-TAXAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> NA DIREÇÃO TANGENCIAL.....	107
TABELA 16-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA A DIREÇÃO LONGITUDINAL DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES.....	120

TABELA 17-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA A DIREÇÃO RADIAL PARA OS TRÊS CLONES	122
TABELA 18-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA A DIREÇÃO TANGENCIAL OS TRÊS CLONES	122
TABELA 19-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA MADEIRA DO CLONE 1	123
TABELA 20-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA MADEIRA DO CLONE 2	124
TABELA 21-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA MADEIRA DO CLONE 3	125
TABELA 4. TABELA 4-CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA PELO INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA) PARA A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	150

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 ASPECTOS SILVICULTURAIS DO EUCALIPTO	19
2.2 VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AO LONGO DO FUSTE.....	20
2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS NO <i>EUCALYPTUS</i>	23
2.3.1 Densidade da madeira	23
2.3.2 Movimentação dimensional da madeira	24
2.4 PROPRIEDADES ANATÔMICAS NO <i>EUCALYPTUS</i>	25
2.5 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	26
2.5.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS	27
2.5.2 COMPONENTES NÃO ESTRUTURAIS	29
2.6 FLUXO DE ÁGUA NA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	33
2.6.1.1 Fluxo da água livre ou capilar	34
2.6.1.2 Fluxo água de impregnação	36
2.6.1 PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS	37
2.7 PERMEABILIDADE DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	38
2.8 EFEITO DA ESTRUTURA ANATÔMICA E NA MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	42
2.9 EFEITO DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA NA MOVIMENTAÇÃO DA ÁGUA NA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	43
3 MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE COLETA	48
3.2 SELEÇÃO DAS ÁRVORES E OBTENÇÃO DAS TORAS.....	48
3.3 PROCESSOS DE DESDOBRO	49
3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	50
3.5 PORCENTAGEM DE CERNE.....	51
3.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	52
3.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS	52

3.7.1 Preparo do material	52
3.7.2. Teor de extrativos.....	53
3.7.2.1. Solvente de caráter Apolar	53
3.7.2.2 Solventes Polares	53
3.7.3 Teor de lignina.....	54
3.7.4 Teor de cinzas.....	54
3.7.5 Teor de holocelulose	55
3.8 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	55
3.9 PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	56
3.9.1 Preparo do material	56
3.9.2 Ensaio da permeabilidade ao ar.....	58
3.10 FLUXO DE ÁGUA PELA TAXA DE SECAGEM PARA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	60
3.10.1 Preparo do material	60
3.10.2. Fluxo de água pela taxa de secagem (secagem drástica)	60
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1. PORCENTAGEM DE CERNE.....	63
4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS	65
4.2.1 TEOR DE UMIDADE INICIAL	65
4.2.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	67
4.2.3 MASSA ESPECÍFICA APARENTE	69
4.2. RETRATIBILIDADE DA MADEIRA	71
4.5. PROPRIEDADES QUÍMICAS	76
4.5.1 Extrativos da madeira.....	76
4.5.2 TEOR DE LIGNINA	82
4.5.3 TEOR DE HOLOCELULOSE E CINZAS.....	84
4.6 PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	87
4.7. TAXA DE SECAGEM NOS DIFERENTES EIXOS ORTOTRÓPICOS	92
4.7.1 TEOR DE UMIDADE INICIAL, TEMPO E CURVAS DE SECAGEM.....	92
4.7.2 Taxa de secagem nas direções ortotrópicas	98
4.7.1.2 Taxa de secagem no sentido base-topo do fuste.....	101
a) Longitudinal	101
b) Radial	105

c) Tangencial	106
4.8. EFEITO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS NO FLUXO DE ÁGUA DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i>	109
4.8.1 Extrativos em etanol	109
4.8.2 Extrativos em clorofórmio	112
4.8.3 Solubilidade em água quente e fria	113
4.8.4 Extrativos totais	115
4.8.5 Lignina e Holocelulose	116
4.8.6 Teor de cinzas	118
4.8.3 MODELOS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS	120
5 CONCLUSÕES	126
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	128
REFERÊNCIAS.....	129
APÊNDICE 1 – ANÁLISES DE VARIÂNCIA	147
APÊNDICE 2 – CORRELAÇÕES DE PEARSON	152
APÊNDICE 3 – CORRELAÇÕES DE PEARSON	153
ANEXO 4- PROCEDIMENTO PARA EXTRAÇÃO DA LIGNINA	154

1 INTRODUÇÃO

Amplamente difundida, a madeira do gênero *Eucalyptus* deixou de ser uma matéria prima alternativa e vem impulsionado a economia tanto da indústria madeireira como da indústria florestal, gerando alternativas para o uso múltiplo das árvores, assim como para o uso de produtos sólidos decorrentes do processamento primário da madeira. Entretanto, juntamente com a magnitude do uso da madeira de eucalipto, existe a necessidade de adequação do seu processamento, pois, a utilização das diversas espécies do gênero, implica árvores jovens e de rápido crescimento e que, na perspectiva da secagem da madeira, devem ser conduzidas de forma criteriosa e com conhecimento avançado sobre a movimentação da água na madeira, principalmente por sua baixa permeabilidade e difícil secagem.

A secagem da madeira do eucalipto ainda é motivo de insegurança na indústria de beneficiamento, que enfrenta dificuldades quanto a esse processo, muitas vezes por falta de conhecimento técnico ou por erros operacionais. Aliado a isso, a secagem do eucalipto apresenta características próprias que a tornam uma madeira de difícil secagem (Zen et al. 2019), como sua baixa permeabilidade (Silva et al. 2010) o aparecimento de defeitos como rachaduras e empenamentos (Nascimento et al. 2019), além do colapso (Yang; Liu, 2018; Yang et al. 2019), entre outros.

Nesse sentido, a movimentação de água na madeira é objeto de estudo há pelo menos um século (Engelund et al., 2013). De acordo com os autores, as pesquisas sobre as interações água-madeira têm sido realizadas, principalmente, com as coníferas e espécies difundidas no hemisfério norte. Na última década, as interações água-madeira em madeiras de folhosas também têm sido estudadas, especialmente no Brasil, como é caso do gênero *Eucalyptus* (Silva et al. 2010; Rezende et al. 2018; Monteiro et al. 2018; Nascimento et al. 2019; Zen et al. 2019), em que os conhecimentos intrínsecos relativos a esses estudos podem gerar aplicações nas diferentes madeiras e em diferentes ambientes de secagem.

Contudo, a aplicação desses conhecimentos tornou possível gerir resultados e relações, que mostram o importante efeito da anatomia na movimentação da água (Zanuncio et al. 2016; Monteiro et al. 2017, 2018; Brito et al. 2019; Monteiro; Lima, 2020), além das clássicas relações das propriedades físicas da madeira de eucalipto (Zanuncio et al. 2015; Nascimento et al. 2019). Tais pesquisas apresentam o efeito da anatomia e densidade da madeira no fluxo de água, mas não relatam o efeito das tiloses na permeabilidade da madeira do gênero *Eucalyptus*, parâmetro que ainda é pouco conhecido, principalmente pela maioria das espécies apresentarem tiloses na sua constituição. Além disso, a relação dos constituintes químicos como extrativos, lignina, celulose, hemicelulose e componentes minerais ainda necessitam de mais estudos sobre sua influência na

movimentação da água livre e de impregnação. Os extrativos por sua vez, mesmo compondo a madeira em menores quantidades, podem ter uma influência significativa principalmente como a madeira é usada. A densidade, resistência, elasticidade, permeabilidade e higroscopicidade da madeira são muito afetadas pela extensão em que os extrativos preenchem os lúmens e, ocasionalmente, a parede celular (IMAMURA, 1989).

Os resultados dessas pesquisas permitirão não só a redução de defeitos da secagem da madeira, como também servirão de subsídio na tomada de decisões com relação a materiais genéticos superiores. Essa seleção genética possibilitará sua aplicação na produção de múltiplos produtos com maior valor agregado, que deve ser embasada em várias propriedades da madeira. Além disso, os resultados são indicativos de propriedades da madeira para seleção de materiais genéticos para setores como de celulose. O fluxo de água na madeira do eucalipto é importante para o conceito de polpação, que se baseia na separação seletiva dos principais componentes, como hemiceluloses, celulose e lignina (Jönsson; Martín, 2016; Penín et al. 2020), influenciando diretamente no rendimento da celulose.

O conhecimento da permeabilidade de líquidos e do ar na madeira de cada espécie também pode ser aplicado aos tratamentos preservativos da madeira, principalmente, devido à baixa permeabilidade da madeira do gênero, o que resulta em uma deficiente penetração do produto preservativo além da região periférica da madeira de alburno (VIVIAN et al. 2012). Além disso, para madeira serrada, fabricação de pisos, molduras e produtos de alto valor agregado, a secagem é fundamentalmente relacionada com a quantidade de água aderida na parede celular, o que influencia o movimento de difusão na madeira e, conseqüentemente, no tempo de secagem, e custos envolvidos, além de adesão a adesivos na colagem.

Assim, estudos sobre a secagem da madeira do eucalipto avaliando diferentes espécies, nos diferentes eixos de dessorção de água, ainda são pouco abordados. Fatores como equipamento, método de medição e características da madeira podem afetar a medição do fluxo de água no lenho (HANSMANN et al. 2002; BA RAÚNA et al. 2014; GEZICI-KOÇ et al. 2017; REZENDE et al. 2017; BRITO et al. 2019; MONTEIRO et al. 2020).

Outros fatores que aumentam a complexidade desses estudos são a dificuldade de visualização do cerne em algumas espécies e a alta presença de madeira juvenil nas árvores. Dessa forma, a maioria das plantações de eucaliptos no Brasil é processada entre cinco e oito anos de idade, quando essas árvores possuem praticamente apenas madeira juvenil (Palermo et al. 2015). O conjunto dos resultados dessa pesquisa, aliada a uma secagem conduzida corretamente, pode resultar em benefícios para o controle de possíveis defeitos, melhorar a qualidade da madeira e aumentar seu aproveitamento com produtos de

alta qualidade (ZEN et al. 2019) e fornecer subsídios científicos e técnicos para área de secagem da madeira.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi compreender a movimentação da água e ar na madeira de três clones de *Eucalyptus* e sua relação com as propriedades da madeira.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a porcentagem de cerne/alburno e as propriedades físicas e químicas da madeira dos três clones de *Eucalyptus* no sentido longitudinal das árvores;
- Aferir a permeabilidade ao ar da madeira no sentido longitudinal dos três clones de *Eucalyptus* e a influência no sentido longitudinal do fuste das árvores;
- Avaliar as taxas de secagem nos diferentes eixos de orientação ortotrópica da madeira dos três clones de *Eucalyptus* e sua influência ao longo do fuste.
- Correlacionar as propriedades químicas da madeira com o fluxo de água livre, de impregnação, e total nos eixos ortotrópicos do lenho e para cada clone de *Eucalyptus*;
- Elaborar modelos matemáticos que expliquem a influência das propriedades químicas no fluxo de água da madeira nas direções ortotrópicas e nos clones de *Eucalyptus*.
- Avaliar a macroscopia da madeira dos três clones de *Eucalyptus*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS SILVICULTURAIS DO GÊNERO *EUCALYPTUS*

Há pouco mais de um século de introdução no Brasil, o gênero *Eucalyptus* possui uma grande área com floresta plantada, atingindo cerca de 6,97 milhões de hectares da área de árvores, que está localizada, principalmente, em Minas Gerais (28%), São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (16%) Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ 2020). Esse número, conforme o mesmo relatório, foi alcançado pelo fato de o país apresentar, atualmente, tecnologias avançadas na silvicultura e melhoramento genético, podendo atingir rendimentos médios de 35 m³/ha/ano, sem levar em consideração a produtividade dos povoamentos híbridos.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2011), esses valores visam a suprir a demanda das indústrias brasileiras de base florestal, com forte tendência de expansão para o atendimento dos mercados nacional e internacional. A expansão na área plantada com espécies do gênero *Eucalyptus* é resultado de um conjunto de fatores favoráveis de ordem econômica, silvicultural e ambiental. Entre os aspectos mais relevantes, estão a expansão e o direcionamento de novos investimentos pelas empresas que utilizam sua madeira como matéria-prima nos processos industriais, o crescimento acelerado das árvores de algumas espécies de eucalipto em ciclos de curta rotação e a alta produtividade florestal (ABRAF, 2011).

No Brasil, a madeira de eucalipto é amplamente utilizada em diversos segmentos como matéria prima na indústria florestal brasileira (IBÁ, 2020). Seu uso é diversificado, sendo consumida, principalmente, pelo setor de celulose e papel, seguido de carvão vegetal, painéis reconstituídos, indústria madeireira, madeira tratada e outros. No ano de 2018, o consumo brasileiro de madeira proveniente de árvores plantadas para uso industrial foi de 206 milhões de m³, o que representa aumento de 6,1% em relação ao consumo do ano anterior (IBÁ, 2020).

Quando se fala em produção de madeira, duas estratégias podem ser empregadas: a primeira, mais utilizada atualmente, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas, como *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*; a segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso que se pretende, com programas posteriores destinados a aumentar a produtividade florestal (PEREIRA et al. 2000). Uma alternativa para aumentar a produtividade é a hibridização, a clonagem e a micropropagação, que são usadas para homogeneizar os plantios quanto à sua alta produtividade, homogeneidade e resistência natural a pragas e doenças (BIOENERGY, 2002).

Apesar de serem descritas mais de 800 espécies do gênero *Eucalyptus*, os plantios são restritos a poucas espécies, podendo-se citar, principalmente o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus exserta*, *Eucalyptus paniculata* e *Eucalyptus robusta* (ANGELI et al. 2005). Dentre essas espécies, pode-se destacar o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e híbridos, particularmente *E. grandis* x *E. Urophylla*, que mostram excelentes resultados em vários locais do país, destacando-se pela alta produtividade no campo e pela excelente característica na qualidade das fibras (SOUZA et al. 2004; BATISTA, 2012).

A espécie pura de *Eucalyptus grandis* é a principal fonte de matéria-prima para a indústria brasileira, e é amplamente cultivada em todo o mundo, tendo em vista sua versatilidade de aplicações (BARBOSA et al. 2005). De acordo com dados do IBÁ (2020), o *Eucalyptus grandis* é a espécie “pura” mais reflorestada pelas suas empresas associadas (papel e celulose), representando cerca de 15% da área plantada, abaixo apenas dos híbridos, que somam 45%.

Além dessas espécies, o *Eucalyptus camaldulensis* é utilizado nesse setor, principalmente pela espécie ser empregada em zonas críticas de reflorestamento, onde as deficiências hídricas e problemas ligados ao solo são fatores limitantes para outras espécies (FERREIRA, 1978). Ainda conforme o mesmo autor, a espécie apresenta resistência a geadas, à deficiência hídrica e a solos pobres em nutrientes, apresentando madeira mais densa, com cerne mais diferenciado e colorido do que *E. grandis* e *E. saligna*. Além disso, é utilizada para produção de madeira serrada e hibridização com outras espécies.

Nesse contexto, as empresas brasileiras do setor florestal têm investido cada vez mais em programas de melhoramento genético para obtenção de madeiras com melhor qualidade e maior produtividade. As árvores do gênero *Eucalyptus* vêm sendo frequentemente utilizadas nesses estudos, por possuírem madeira com ampla diversidade tecnológica, o que permite sua utilização para diversos fins (BRAZ et al. 2014).

Para uma espécie ou clone ser considerado adequado para a produção de celulose, energia ou madeira serrada, devem ser avaliados parâmetros relacionados à qualidade da madeira, ao conhecimento de sua densidade básica, a teores de carboidratos, lignina, extrativos e minerais, ao tipo de lignina e à morfologia das fibras, o que é essencial para que se possa determinar sua possível aplicação (SANTOS et al. 2016).

2.2 VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AO LONGO DO FUSTE

A madeira é um material heterogêneo, higroscópico, poroso e anisotrópico que possui diferentes tipos de células adaptadas que desempenham funções específicas e podem variar conforme a sua composição química, física e anatômica (KOLLMANN; COTÈ, 1968). Somado a isso, devido à complexidade desse material biológico, as variações podem ocorrer entre diferentes espécies, entre a mesma espécie, e também na mesma árvore. Dentro de uma mesma espécie, há variações significativas na altura do tronco e na direção da medula até a casca. Além disso, existem diferenças entre o cerne e o alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento e, em escala microscópica (TRUGILHO et al. 1996).

As características físicas apresentam maior variação no sentido radial quando comparadas ao axial (CRUZ et al. 2003). A intensidade das variações ocorre, segundo Zobel; Jett (1995), em decorrência dos fatores genéticos, ambientais e da interação entre esses dois fatores. Dentre as características físicas, a densidade é a mais utilizada em programas de melhoramento florestal, devido à sua alta correlação com as demais propriedades da madeira (GOMIDE et al. 2010).

No gênero *Eucalyptus*, a densidade pode variar com a idade, com o vigor, com o local onde crescem, com a taxa de crescimento, e, na mesma árvore, variando no sentido base-topo e na distância medula-casca (FERREIRA 1972; SOUZA et al. 1979). Variações na densidade ao longo do fuste são menos consistentes do que aquelas na direção radial, pois a proporção de madeira juvenil na direção longitudinal tende a aumentar. Como resultado imediato, a densidade diminui, o que frequentemente ocorre em muitas espécies devido à madeira juvenil (TRUGILHO et al. 1996).

Assim como a densidade, as características anatômicas também sofrem variações (MONTEIRO, 2014). Dentre elas, as principais variações encontradas são relacionadas aos elementos de vaso, fibras, parênquima e raios. A distribuição desses elementos dentro de uma árvore apresenta variações quanto às suas dimensões e distribuição no lenho (NISGOSKI et al. 1998). Silva et al. (2007) relatam que a variação nas dimensões das fibras e dos elementos de vasos ocorre conforme a idade da árvore e, também, conforme a região interna ou externa do tronco da árvore.

Na variação radial do tronco de *E. grandis*, analisada por Rocha et al. (2004), foi observado que todas as dimensões das fibras apresentam tendência crescente no sentido medula-casca, já os elementos de vasos apresentam tendência crescente para o diâmetro, enquanto o comprimento do elemento vascular e a frequência de poros apresenta tendência decrescente. Os raios apresentam maiores dimensões na região próxima à medula e a sua frequência tende a reduzir na região próxima da casca. Por sua vez, analisando a variação longitudinal da árvore, os autores observaram que (i) as fibras com maiores dimensões estão localizadas na altura entre 0 e 25% do fuste, (ii) os elementos de vaso com maior

comprimento e menor frequência são observados na altura de 25%, (iii) os elementos de vasos mais largos são encontrados na altura de 75%, (iv) os raios mais altos e largos são encontrados na altura de 50% e (v) os mais frequentes na altura de 100%.

Afora as diferenças evidenciadas, a estabilidade dimensional também apresenta variações entre as espécies, no sentido radial e longitudinal do fuste (ALZATE et al. 2005; SEVERO et al. 2006; LOURENÇON et al. 2013). Moreira (1999), em estudo com várias espécies, verificou que as contrações radial e volumétrica aumentaram no sentido medula-casca, como reflexo do aumento da massa específica. Oliveira (1998), estudando várias espécies de eucalipto, verificou um aumento na retratibilidade volumétrica total, com o acréscimo radial a partir da medula.

Além disso, as propriedades químicas variam no sentido radial, assim como no sentido longitudinal ao fuste. Segundo Arantes et al. (2011), o estudo da madeira de dois clones de *Eucalyptus*, de maneira geral, demonstrou que os extrativos e o conteúdo total de lignina na madeira apresentaram variação decrescente com o aumento da distância da medula e tenderam a se concentrar em posições próximas à base das árvores. Os extrativos não se distribuem de forma homogênea pela árvore, sendo que sua formação e localização dependerão da função do extrativo (COELHO et al. 2018). A concentração de extrativos com atividades fúngicas, por exemplo, é maior nas partes mais externas do cerne e próximo à base da árvore, diminuindo em direção à medula e ao topo (LIMA et al. 1997).

A posição no fuste é um fator relevante, pois, durante o crescimento da árvore, fatores ambientais e intrínsecos à própria espécie determinam o grau de variação da massa específica no sentido radial e longitudinal e, conseqüentemente, na retratibilidade, podendo servir como parâmetro para separar a madeira em classes de qualidade, em função da posição de onde é retirada a peça (KOLLMAN; CÔTÉ, 1968).

Nesse sentido, a qualidade da madeira se refere à sua capacidade para atender aos requisitos necessários para a fabricação de um produto ou, ainda, à combinação de propriedades físicas, químicas, anatômicas e estruturais da árvore ou de suas partes, o que leva a um máximo aproveitamento e a uma melhor aplicabilidade para determinado fim (RIBEIRO et al. 2013). Assim, o conhecimento tecnológico sobre madeiras que têm potencial para utilização na indústria, como é o caso do eucalipto, contribui de forma significativa para justificar a utilização dessas espécies no mercado (GONÇALEZ, et al. 2006).

2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS NO *EUCALYPTUS*

2.3.1 Densidade da madeira

Dentre as diversas propriedades físicas da madeira, a densidade é a mais utilizada, em razão da facilidade de ser determinada e por se correlacionar diretamente com outras propriedades da madeira (BATISTA et al. 2010). Ademais, a densidade é muito utilizada para programas de seleção de clones no melhoramento florestal (GOMIDE et al. 2010) na seleção de árvores, devido à alta herdabilidade (FERNANDES et al. 2011). As variações da densidade na madeira podem ser observadas, além do sentido medula casca, também no sentido base topo em uma mesma árvore, no cerne e alburno, lenho inicial e lenho tardio, assim como na sua composição anatômica, química e no teor de umidade (TRUGILHO et al. 1996; VIDAURRE et al. 2011).

A variação longitudinal da densidade básica da madeira de eucalipto possui diversos tipos de tendência. Em algumas espécies, a densidade tende a ser decrescente da base para o topo, em outras tende a ser crescente a partir da altura de 1,3m – próximo do diâmetro a altura do peito (DAP) –, podendo, ainda, em outras espécies, apresentar valores alternados com a tendência decrescente e crescente (BARRICHELO et al. 1983). A variação da densidade básica no sentido medula-casca geralmente é crescente, isto é, aumenta gradativamente do cerne para o alburno (FOELKEL et al. 1983). As diferentes composições de estruturas anatômicas entre as espécies são responsáveis pelas diferenças de densidade (BATISTA, 2012).

A umidade afeta todas as propriedades da madeira: físicas, mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas e, também, a densidade. Portanto, para fins de comparação entre amostras, é importante que as condições de umidade sejam semelhantes. Em linhas gerais, quanto maior a umidade, maior será a densidade da madeira (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968). Alguns trabalhos relatam densidade básica para *Eucalyptus saligna*, de 0,46 g/cm³ aos oito anos, e *Eucalyptus grandis*, de 0,45 g/cm³ (BATISTA et al. 2010). Os valores médios da densidade básica da madeira de cerne e do alburno para *E. camadulensis* encontrados por Costa et al. (2017) foram 0,56 g/cm³ e 0,60 g/cm³ aos 7,5 anos. No mesmo sentido, foram relatados por Cruz et al. (2003) valores de densidade entre 0,43 e 0,57 g/cm³ para *Eucalyptus urophylla* e entre 0,46 e 0,50 g/cm³ para *Eucalyptus camadulensis*, enquanto valores de 0,44 e 0,55 kg g/cm³ foram verificados para clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, conforme Queiroz et al. (2004).

Além dos fatores mencionados, as características genéticas e todos os fatores relativos ao ambiente, que afetam o desenvolvimento das árvores, também irão influenciar na densidade da madeira. Dentre eles se encontram o clima (temperatura, umidade relativa,

estações do ano, regime de chuvas, geadas e neve), o solo (fertilidade natural, adubação e características físicas), tratos culturais, silviculturais e manejo (desrama, desbaste, espaçamento e controle de matocompetição) (BATISTA, 2012).

2.3.2 Movimentação dimensional da madeira

Dentre os principais comportamentos da madeira tidos como indesejáveis, os mesmos afirmam que a estabilidade dimensional é uma das principais causas de desperdícios de recursos no processamento da madeira, especialmente espécies de rápido crescimento como o eucalipto (MANHIÇA et al. 2013).

A estabilidade dimensional da madeira pode ser caracterizada pela contração ou inchamento da madeira, quando em contato com a água, e está relacionada à capacidade da madeira em absorver a água higroscópica (BATISTA et al. 2010; DELUCIS et al. 2013). Conforme Kollmann; Côté Júnior, (1968); Siau (1978); Oliveira et al. (2010), o princípio da retratibilidade deve-se ao fato das moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira; quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, momento em que as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando, portanto, retração da madeira como um todo. Ainda conforme o mesmos autores, o fenômeno do inchamento é o inverso: quando a água adsorvida pela madeira penetra entre as microfibrilas, é causado o afastamento delas e o consequente inchamento da peça de madeira como um todo.

Por ser um material anisotrópico, mais importante do que avaliar a retratibilidade volumétrica na madeira é ter o conhecimento das suas variações lineares, nas direções tangencial, radial e longitudinal (OLIVEIRA et al. 2010). Ainda conforme os mesmos autores, a retratibilidade longitudinal não é preocupante, uma vez que seus valores são muito pequenos, inferiores a 1%. A atenção maior deve ser dada à movimentação transversal, sendo a movimentação tangencial maior que a radial. A contração tangencial da madeira desde o estado verde (acima do ponto de saturação das fibras) até seco em estufa (0% de umidade) encontra-se no intervalo de 3,5% a 15,0%, enquanto a contração radial encontra-se na faixa de 2,4% a 11,0% (KOLLMANN; CÔTÉ JÚNIOR, 1968).

Conforme Oliveira; Silva (2005), de maneira geral, a contração na direção tangencial é, aproximadamente, duas vezes maior do que na direção radial. A razão entre a contração tangencial e radial (relação T/R), comumente chamada de fator de anisotropia, geralmente varia de 1,5 a 2,5, e tornou-se um índice muito importante nos estudos de variação dimensional da madeira. Quanto maior essa relação, maior será a tendência ao aparecimento de defeitos na secagem. Batista et al. (2010), ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus saligna* de 11 anos de idade, obtiveram valores de contração máxima

volumétrica, radial e tangencial de 15,16%, 5,03% e 9,86%, respectivamente. Por seu turno, González et al. (2006) obtiveram contração máxima volumétrica, radial e tangencial de, respectivamente, 17,3%, 6,9% e 10,9% para a madeira de *Eucalyptus grandis* de 17 anos de idade e anisotropia de contração de 1,58.

2.4 PROPRIEDADES ANATOMICAS NO *EUCALYPTUS*

As angiospermas dicotiledôneas são os vegetais mais evoluídos, pois apresentam uma composição anatômica bem mais complexa e especializada do que as gimnospermas, oferecendo um número maior de elementos anatômicos para sua identificação (BURGER; RICHTER, 1991). Uma grande complexidade de estruturas anatômicas é encontrada nas folhosas, que possuem, principalmente, elementos vasculares, fibrotraqueides, fibras, células parenquimáticas axiais e radiais Esteban et al. (2003), com variações, às vezes, dentro e entre diferentes grupos de espécies (ALZATE et al. 2005).

Conforme Wilkes (1988), o gênero *Eucalyptus* apresenta no seu lenho uma estrutura anatômica relativamente simples, com anéis de crescimento geralmente indistintos. Vasos solitários, com diâmetro de 80-100µm, e compondo 10-20% da madeira, foram reportados por Dadswell (1972), Hillis (1972, 1978), Wilkes; Abbott (1983) e Bamber (1985). Wilkes (1988) refere parênquima axial apotraqueal e paratraqueal, não ultrapassando 10% na madeira; raios com uma a três células de largura e cerca de 20 células de altura, compondo 10-20%; e fibras do tipo fibrotraqueides, compondo mais de 60% do lenho. Traqueoides vasicêntricos foram reportados como de escassa ocorrência, não ultrapassando 2% do volume total da madeira.

Alfonso (1987) caracterizou o lenho das principais espécies de *Eucalyptus* utilizadas no Brasil, observando que as madeiras possuem estrutura anatômica homogênea, com pouca variação entre amostras de uma mesma espécie. Barrichelo; Brito (1976) descreveram as características anatômicas da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus*, ressaltando que o comprimento das fibras variou entre 750 e 1.300µm, com a média próxima de 1.000µm. Quanto ao diâmetro das fibras, a variação ficou entre 15 e 20µm. O diâmetro dos vasos variou de 50 a 300µm e a frequência entre 5 e 100/mm². Ainda de acordo com esses autores, os percentuais de fibras, vasos e parênquima no tecido do lenho foram 65, 17 e 18%, respectivamente.

Conforme Rocha et al. (2004), os raios apresentam maiores dimensões na região próxima à medula e a sua frequência tende a reduzir na região próxima da casca. Por sua vez, analisando a variação longitudinal da árvore, os autores observaram que (i) as fibras com maiores dimensões estão localizadas na altura entre 0 e 25% do fuste, (ii) os elementos de vaso com maior comprimento e menor frequência são observados na altura de 25%, (iii)

os elementos de vasos mais largos são encontrados na altura de 75%, (iv) os raios mais altos e largos são encontrados na altura de 50% e (v) os mais frequentes na altura de 100%.

Vários autores têm analisado os parâmetros anatômicos da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* com os mais diversos objetivos e levando em consideração a posição da amostra no caule, a idade das plantas e o ambiente onde ocorrem (OLIVEIRA et al. 2012).

Oliveira (1998) estudou as características tecnológicas da madeira de sete espécies de *Eucalyptus* com idade média de 17 anos para a construção civil. Ele concluiu que, apesar de o lenho dessa madeira ser bastante homogêneo sob o aspecto morfológico da constituição anatômica, foi possível observar considerável variação quanto às dimensões e à frequência de ocorrência desses constituintes anatômicos. Esse mesmo autor afirmou, ainda, que do ponto de vista tecnológico – relativo à influência nas demais propriedades da madeira e, conseqüentemente, da sua utilização final –, torna-se relevante o maior destaque dado aos estudos quantitativos, em comparação aos meramente descritivos.

As características anatômicas instituem um índice de qualidade, além da composição química e as características físicas da madeira, e compõem os fatores que alteram as suas propriedades. Segundo Oliveira (1998), a relação entre o volume ocupado pelos vasos, fibras (espessura da parede) e parênquima é fator importante nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de diferentes espécies de eucalipto, além da sua permeabilidade a líquidos e gases.

2.5 PROPRIIDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*

A madeira é um material complexo, considerando sua constituição anatômica e suas propriedades químicas. É constituído por diferentes tipos de células que realizam as funções necessárias de suporte mecânico, transporte de água e metabolismo. Além das diferentes características encontradas entre os tipos de células, a composição química da madeira apresenta também diferenças entre partes da árvore, como no tronco, galhos, topo, raízes e casca (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998). Por essa razão, pode-se dizer que toda a madeira contém aproximadamente 49-50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44-45% de oxigênio e Nitrogênio com 0,1-1% além das substâncias inorgânicas (KOLLMANN, 1959).

Quimicamente, a madeira é definida, segundo Farmer (1967); Lepage (1986), como um biopolímero tridimensional, formado por celulose, hemicelulose, lignina e, em menor quantidade, extrativos e materiais inorgânicos. Por sua vez, Yang; Jaakkola (2011) tratam o tema de forma diferente, classificando os constituintes químicos das espécies de madeira seca em substâncias estruturais e não estruturais. As estruturais são formadas pela celulose, hemiceluloses e lignina, enquanto as não estruturais são formadas, principalmente,

por compostos de baixa massa molecular, como extrativos (componentes acidentais), alguns orgânicos solúveis em água e inorgânicos.

2.5.1 COMPONENTES ESTRUTURAIS

Dentre esses compostos, a celulose é o mais abundante e importante biopolímero do mundo Yang; Jaakkola (2011), sendo o principal componente da parede celular dos vegetais, apresentando-se sob a forma de fibras e localizada, predominantemente, na parede secundária (Silva, 2012). É definida como um homopolissacarídeo linear que consiste em unidades de β -D-glucopiranosose ligadas entre si por ligações (1,4) – glicosídicas e tem como unidade fundamental D-glicose (SJÖSTRÖM, 1998; YANG; JAAKKOLA, 2011).

Moléculas de celulose são completamente lineares e têm forte tendência para formar ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares. Feixes de moléculas de celulose se agregam na forma de microfibrilas, na qual regiões altamente ordenadas (cristalinas) se alternam com regiões menos ordenadas (amorfais). As microfibrilas se unem formando fibrilas e estas constroem as fibras celulósicas; como consequência dessa estrutura fibrosa, a celulose possui alta resistência à tração e é insolúvel na maioria dos solventes (LINO, 2015; SJÖSTRÖM; ALÉN 1998).

Além da celulose, as polioses ou hemiceluloses também são polímeros à base de carboidratos de ocorrência natural. São compostos por heteropolissacarídeos de baixo peso molecular (Yang; Jaakkola, 2011), ou seja, contêm vários açúcares em sua composição, entre eles a xilose, manose, arabinose e glicose, destacando-se como os mais importantes.

O termo “polioses” refere-se a uma mistura de polímeros polissacarídeos, os quais estão intimamente associados à celulose. Enquanto esta, como substância química, contém exclusivamente a D-glucose como unidade fundamental (monomérica), as polioses são polímeros de fácil hidrólização por ácidos, e seus componentes são: D-glucose, D-manose, D-galactose, D-xylose, L-arabinose e L-ramnose, além de ácido D-glicorônico e ácido 4-O-metil-D-glucorônico (SJÖSTRÖM; ALÉN 1998). A maioria das hemiceluloses apresenta um grau de polimerização de 200 e seus teores encontram-se em um intervalo de 20 a 40% do peso seco da madeira (SJÖSTRÖM; ALÉN 1998; KLOCK; ANDRADE 2013).

As polioses são responsáveis por diversas propriedades importantes das pastas celulósicas. Devido à ausência de cristalinidade, à sua baixa massa molecular e à sua configuração irregular e ramificada, absorvem água facilmente. Esse fato contribui para o intumescimento, a mobilidade interna e o aumento de flexibilidade das fibras, para a redução do tempo e da energia requeridos no refino de pastas celulósicas, e para o aumento da área específica ou de ligação das fibras (SJÖSTRÖM; ALÉN 1998; KLOCK; ANDRADE, 2013).

De acordo com Silva (2011) o termo holocelulose é comumente utilizado para descrever o total de carboidratos presentes na madeira. Um alto teor desse componente afeta positivamente o rendimento dos processos de polpação.

Após a celulose, a lignina é a substância orgânica com maior frequência nos tecidos vegetais, com grande quantidade de carbonos aromáticos (ZANUNCIO; COLODETTE, 2011; WASTOSKY, 2018). Ela é depositada nas paredes celulares e na lamela média como substância incrustante e, após a formação dos polissacarídeos, seu papel físico é reforçar a estrutura da madeira (SJÖSTRÖM; ALÉN 1998).

Formam um composto de natureza aromática e tridimensional Trugilho et al. (1996), têm elevada massa molecular e, como base estrutural, possuem três tipos de álcoois que possuem unidades de fenilpropano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira. As unidades de fenilpropano são unidas por dois tipos de ligações: ligação éter (C-O-C), que são mais fracas, e ligações carbono-carbono (C-C), que são mais fortes (SJÖSTRÖM; ALÉN 1998).

A quantidade de lignina na madeira, de maneira geral, varia de 15 a 25%. Porém, esse valor pode mudar caso a árvore necessite – o que ocorre, geralmente, por fatores externos que induzem a árvore a produzir mais ou menos lignina (GLASSER; KELLEY, 1987). A concentração de lignina varia de 28 a 36% em coníferas Fengel; Wegner (1989) e de 26,0 a 34,2% em folhosas (SANTANA; OKINO, 2007).

As ligninas são estruturas complexas e abundantes, com aproximadamente 30% do carbono da biosfera Fengel; Wegner (1989), presentes na maioria das plantas, mas com estrutura básica diferente entre espécies vegetais. Estão presentes na lamela média, parede primária e secundária das células diferenciadas (fibras, traqueídes, esclereídes), onde conferem rigidez, resistência à compressão e o caráter hidrofóbico da matriz de polissacarídeos da parede celular (SILVA, 2006).

A concentração da lignina é alta na lamela média e baixa na parede secundária. Por causa de sua espessura, pelo menos 70% da lignina das coníferas é, entretanto, localizada na parede secundária. Por sua vez, a parede secundária das madeiras de compressão das coníferas pode apresentar concentração de lignina entre 55 e 88%. Os valores são bastante similares para madeiras de folhosas. Quando o processo de lignificação é terminado, geralmente coincide com a morte da célula, formando o que se denomina tecido de resistência. Daí conclui-se que a lignina é um produto final do metabolismo da planta (TERASHIMA et al. 1993; SAKA; GORING, 1985).

Segundo Hillis; Brown (1978), as diversas espécies de eucalipto apresentam a seguinte faixa de composição química de sua madeira: 40–62% de celulose, 12- 22% de hemiceluloses e 15-25% de lignina. O Quadro 1 apresenta a composição química da

madeira de algumas espécies de *Eucalyptus*, relatada por vários autores em povoamentos com idades jovens.

Quadro 1- Composição química da madeira de algumas espécies de *Eucalyptus*

Espécie	Autor	Holocelulose %	Lignina %	Extrativos totais %	Cinzas%
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Coelho et al. (2018)	-	-	3,42	0,65
<i>E. camaldulensis</i>	Costa et al. (2017)	63,00	32,35%	5,08	-
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Soares et al. (2014)	72,42	21,97	9,43	0,18
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Benites et al. (2018)	71,67	23,84	3,68	0,82
<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	Benites et al. (2018)	71,93	24,41	2,93	0,74

Fonte: O autor (2020).

Nota: Espaços em branco correspondem a valores não relatados pelos autores.

Trugilho et al. (1996), estudando a madeira de *Eucalyptus saligna*, concluíram que existe uma tendência de estabilização nos valores de extrativos totais, lignina e holocelulose com a idade. Isso demonstra que as características químicas estão sujeitas a variações iniciais na madeira juvenil, tendendo a valores estáveis na madeira adulta, assim como as características anatômicas, físicas e mecânicas.

2.5.2 COMPONENTES NÃO ESTRUTURAIS

Os extrativos, também chamados de compostos acidentais, são substâncias de baixo peso molecular. São aqueles que não tomam parte essencial na formação da estrutura da madeira e são, comparativamente, compostos por baixo grau de polimerização. Além disso, incluem um elevado número de compostos solúveis em solventes orgânicos neutros, solúveis em água, ou até mesmo extraídos por vapor (WASTOWSKI, 2018). Eles podem ser classificados em vários grupos, de acordo com as suas características estruturais, embora, frequentemente, ocorra sobreposição na classificação, devido à natureza multifuncional associada a alguns compostos (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

Ainda conforme os mesmos autores, os extrativos comumente encontrados na madeira consistem de material orgânico oleofílico de baixa massa molecular. Os seguintes compostos podem ser encontrados na resina: terpenos, lignanas, estilbenos, flavonoides e

outros aromáticos. Além dessas substâncias, outros compostos orgânicos podem estar presentes nos extrativos, como gorduras, ceras, ácidos graxos, álcoois, esteroides e hidrocarbonetos de elevada massa molecular (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

De maneira geral, as coníferas possuem mais extrativos que as folhosas, sendo que a maioria dos extrativos, tanto nas coníferas como nas folhosas, está localizada no cerne (sem considerar a casaca) e alguns são responsáveis pela cor, odor, durabilidade da madeira (WASTOWSKI, 2018). Ainda, conforme Sarto; Sansigolo (2010); Wastowski, (2018), cerca de 3 a 10% da madeira seca é constituída de extrativos, sendo que, geralmente, esse teor fica na faixa de 5 a 8% para madeiras de coníferas e de 2 a 4% para as folhosas.

Segundo Wastowski, (2018), a distribuição dos extrativos pela árvore é de forma heterogênea, ocorrendo maior concentração nas partes externas do cerne e próximo à base da árvore, diminuindo em direção à medula e ao topo, bem como são considerados baixos no alburno. Conforme Yang; Jaakkola (2011), os extrativos da madeira têm seu local morfológico e ampla distribuição na árvore; as gorduras estão localizadas principalmente nas células do parênquima; os canais de oleorresina de terpenóides contêm, principalmente, os terpenóides; substâncias fenólicas também podem ser encontradas na folhagem; e alguns carboidratos, como glicosídeos, açúcares, amido e proteínas, ainda são encontrados no câmbio e na zona crescente da árvore.

Todos os compostos formados na madeira são originados da fotossíntese. Os extrativos, por sua vez, são resultado das modificações sofridas pelos carboidratos no processo fisiológico da árvore (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998). Nesse contexto, o local de formação e posterior deslocamento para um local definitivo na madeira depende da função de cada extrativo (WASTOWSKI, 2018).

Os extrativos da madeira podem ser extraídos em água ou solventes orgânicos. Os constituintes da madeira solúveis em água são, principalmente, alguns sais ou minerais inorgânicos, açúcares e polissacarídeos de baixa massa molecular. Os compostos solúveis em solventes orgânicos pertencem às classes dos ácidos e ésteres graxos, álcoois de cadeia longa, esteróides, compostos fenólicos e glicosídeos (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998; FREIRE et al. 2002; MORAIS et al. 2005).

A maioria dos solventes tem baixa capacidade de extração, como os alcanos. Entretanto, os bons lipofílicos, como o benzeno, diclorometano e clorofórmio, podem constituir um problema para o meio ambiente quando usados com muita frequência (WASTOWSKI, 2018). A acetona também tem sido usada na substituição dos solventes lipofílicos, como o diclorometano, apesar de extrair também componentes mais polares, tais como fenóis e açúcares (SILVÉRIO et al. 2006). Já os compostos muito polares, como os taninos, são extraídos em solventes fortemente polares, tal como o metanol ou a mistura

deste com água. Por outro lado, diclorometano, clorofórmio, éter ou éter dietílico são alguns solventes usados para extrações em amostras aquosas, como mostra a Tabela 1 (SILVÉRIO et al. 2006; WASTOWSKI, 2018).

TABELA 1-PRINCIPAIS SOLVENTES UTILIZADOS E OS METABÓLITOS EXTRAÍDOS DA MADEIRA

Solventes utilizados	Substâncias extraídas
Éter de petróleo; hexano	Lípideos, ceras, pigmentos,
Éter etílico, Diclorometano (CH ₂ CL ₂); Clorofórmio (CHCL ₃)	Bases alcaloídicas livres, antraquinonas livres, terpenos, esteroides
Acetato de etila; butanol	Geninas de flavonoides, cumarinas simples, terpenos e esteroides
Etanol; metanol	Heterosídeos de forma geral
Misturas hidroalcoólicas; água	Saponinas, taninos, flavonoides e açúcares
Água acidificada	Alcaloides
Água alcalinizada	Saponinas

FONTE: Wastowski, (2018).

Os extrativos na madeira podem ser classificados de acordo com o seu local morfológico e função na árvore (TABELA 2). Esse esquema também classifica os extrativos de acordo com sua polaridade e solubilidades em diferentes solventes (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998). A tabela mostra que os diferentes solventes podem ser utilizados para o isolamento de extrativos, de acordo com as diversas finalidades, para os compostos lipofílicos, terpenóides e gorduras; por sua vez, os solventes não polares são uma boa opção para o isolamento seletivo. Para os compostos hidrofílicos, substâncias fenólicas e alguns carboidratos, solventes polares e água podem ser usados na extração. Pode-se ver que certos tipos de solventes, como a acetona e etanol, têm a capacidade de dissolver todos os tipos de extrativos e, portanto, podem ser usados quando a quantidade total de extrativos é determinada (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998, YANG; JAAKKOLA, 2011).

TABELA 1-CLASSIFICAÇÃO DOS EXTRATIVOS NA MADEIRA

Localização na madeira	Canais resiníferos	Células de parênquima	Cerne	Câmbio e zona de crescimento
Principais classes de compostos	Resinas ácidas, monoterpenos e outros terpenóides	Gorduras, gorduras ácidas,	Substâncias fenólicas	Glicosídeos, açúcares, amido e

		ésteres, esteróis		proteínas
Alcanos	+++	+++	0	0
Éter dietílico	+++	+++	++	0
Diclorometano	+++	+++	++	0
Acetona	+++	+++	++	0
Etanol	++	++	+++	+
Água	0	0	+	+++
Solubilidade	Solvente Não polar	Solvente não polar	Solvente polar (água)	Água

NOTA: +++: facilmente solúvel ++: solúvel +: ligeiramente solúvel 0: insolúvel.

FONTE: SJÖSTRÖM; ALÉN (1998).

Estudos recentes têm investigado alternativas diferenciadas para a determinação do teor de extrativos em madeira, a exemplo do uso de misturas de solventes como tolueno: etanol (2:1), clorofórmio: metanol (2:1), ou de outros solventes menos convencionais, como tert-butil metil éter (MTBE), hexano e éter de petróleo (WASTOWSKI, 2018).

Apesar desses relatos na literatura, nenhum estudo sistemático foi realizado para avaliar qual solvente é mais adequado para a determinação do teor total de extrativo e do teor de extrativos lipofílicos em madeiras de eucalipto (SILVÉRIO et al. 2006). Os extrativos solúveis em água incluem sais, açúcares simples, polissacarídeos e algumas substâncias fenólicas, sendo que muitos desses materiais solúveis em água, por vezes, também são solúveis em solventes orgânicos (SJÖSTRÖM, 1998). Importante registrar que o amido também faz parte dos polissacarídeos extraíveis em água (SJÖSTRÖM, 1998; KLOCK; ANDRADE, 2013).

A madeira contém quantidades muito baixas de componentes inorgânicos. Quando comparados às cinzas, não excedem 1% do peso da madeira seca e são originadas, principalmente, de uma variedade de sais depositados nas paredes das células e lúmens (SJÖSTRÖM, 1992). Os sais típicos depositados são os metálicos: carbonatos, silicatos, oxalatos e fosfatos, entre os quais os mais abundantes são os compostos por cálcio, seguido do potássio e magnésio (SJÖSTRÖM, 1992).

Segundo Trugilho et al. (1996), o conteúdo dos componentes minerais da madeira é normalmente pequeno, formado principalmente por óxidos minerais, tais como: óxidos de cálcio, de magnésio, de fósforo, de silício, de potássio, dentre outros. A cinza é classificada como resíduo sólido mineral que sobra da queima de biomassa (TRUGILHO et al. 1996). Na madeira de eucalipto, é encontrada de forma variada em qualidade e quantidade

(Foelkel, 2011); especificamente, o teor de cinzas raramente chega a 1% do seu peso seco (Trugilho et al. (1996).

2.6 FLUXO DE ÁGUA NA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*

A madeira consiste em diversos constituintes histológicos, que compõem um conjunto de sistemas operacionais de acordo com as suas funções específicas; as conjunções entre os seus constituintes causam sua integridade funcional. Tais sistemas, combinados estruturalmente e funcionalmente, constituem a madeira como um todo, fazendo com que a esta desempenhe suas funções específicas. Por isso, a madeira deve ser considerada uma unidade indissolúvel, em vez de um conglomerado de células funcionando separadamente (KEDROV, 2012). Nesse sentido, as pesquisas em relação à água-madeira são realizadas há mais de um século Engelund; Thygesen; Svensson; Hill, Callum A.S. (2013) e mostram que essas relações são cada mais desafiadoras, principalmente para a madeira das folhosas, a exemplo do gênero *Eucalyptus* (MONTEIRO, 2014).

Os estudos sobre a movimentação da água são importantes, pois sua movimentação está relacionada a defeitos ocorridos na madeira Klitzke; Batista (2010), bem como a presença da umidade aumenta os custos de transporte e afeta as propriedades mecânicas da madeira (HASELEIN et al. 2002). Além disso, diminui o rendimento na produção de carvão vegetal, pois parte do material lenhoso é queimado para a retirada da água como vapor (ROUSSET et al. 2011), reduzindo o poder calorífico líquido da madeira (BRAND et al. 2011).

Nesse contexto, as madeiras do gênero *Eucalyptus* podem ser consideradas como de secagem lenta, difícil e complexa, devido, principalmente, à baixa permeabilidade a líquidos e a gases, a qual reflete um acentuado gradiente de umidade, elevadas contrações, maior suscetibilidade ao colapso, rachaduras e altas tensões de secagem (BARBOSA et al. 2005; CALONEGO; SEVERO 2004; SEVERO 2000; VERMAAS, 1995).

Contudo, diversos estudos avaliaram a saída de água da madeira de *Eucalyptus* – e são cada vez mais frequentes, principalmente a madeira serrada (SEVERO, 2000; JANKOWSKY et al. 2003; BARBOSA et al. 2005; KLITZKE; BATISTA 2010; LIEBL et al. 2017; ZEN et al. 2019). Os estudos com o gênero demonstram que muitos métodos na secagem da madeira serrada trazem alternativas para melhoramento de sua qualidade e para aperfeiçoamento e investigações mais profundas na secagem – a exemplo da avaliação da influência do diâmetro e da casca na secagem da madeira (Rezende et al. 2010; Pertuzzatti et al. (2013), a relação entre secagem e densidade (Zanuncio et al. 2015), o efeito de umidade na energia e densidade (Brand et al. 2011; Zanuncio et al. 2013) e o

efeito da anatomia no fluxo da água (MONTEIRO et al. 2017). A maioria desses estudos sobre secagem concentrou-se na produção de energia, principalmente na produção de carvão vegetal (MONTEIRO et al. 2018).

Liebl et al. (2017), ao avaliarem a secagem e a influência dos parâmetros dimensionais da pilha na secagem da madeira de *E. grandis*, encontraram aumento na velocidade de secagem, com redução da largura da pilha, diminuindo o tempo da secagem no pátio.

Ainda nesse linha, Zen et al. (2020), utilizando métodos combinados de secagem da madeira de eucalipto, encontraram menores tempos para esse processo, indicando a metodologia satisfatória para diminuir defeitos, principalmente o colapso. Monteiro; Lima (2020) evidenciaram a importância das pontuações raio vasculares e intravasculares no fluxo da água da madeira de *Eucalyptus urophylla*, indicando correlações desses caracteres anatômicos com as taxas de secagem.

Nesse contexto, evidenciam-se as relações água-madeira, apresentando variações de estado físico e, também, a forma de movimentação (ENGELUND et al. 2013). A água presente na madeira pode ser dividida, basicamente, em dois grupos (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968; SIAU, 1971; ENGELUND et al. 2013):

a) Água livre ou de capilaridade, na fase líquida e de vapor, encontrada acima da umidade do ponto de saturação das fibras (PSF), que, segundo Skaar (1972), varia entre 25 e 35%;

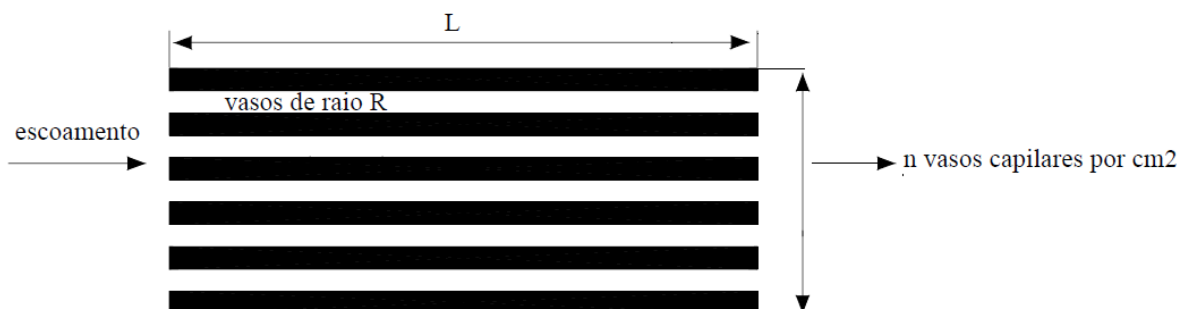
b) Água de impregnação ou adsorvida, na forma de vapor e adsorvida na parede celular das fibras, encontrada abaixo da umidade do PSF.

2.6.1.1 Fluxo da água livre ou capilar

O fluxo de água livre é regido pela lei de *Hagen-Poiseuille's*, segundo a qual os movimentos da água nos capilares cheios se originam pela diferença das tensões superficiais dos meniscos dos capilares (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SIAU, 1971), ou seja, mediante forças capilares. Siau (1971) descreve esse movimento generalizado por meio da Figura 3.

Quando uma dicotiledônea apresenta vasos abertos, estes se comportam como vasos capilares abertos ao longo de todo o comprimento de uma espécie de madeira. O grande diâmetro dos vasos (se comparado à abertura das pontuações) faz o escoamento através das fibras e do parênquima longitudinal insignificante quando relacionados (Siau, 1971).

FIGURA 1- MOVIMENTO DE ESCOAMENTO LONGITUDINAL PARA DICOTILEDÔNEAS COM VASOS ABERTOS

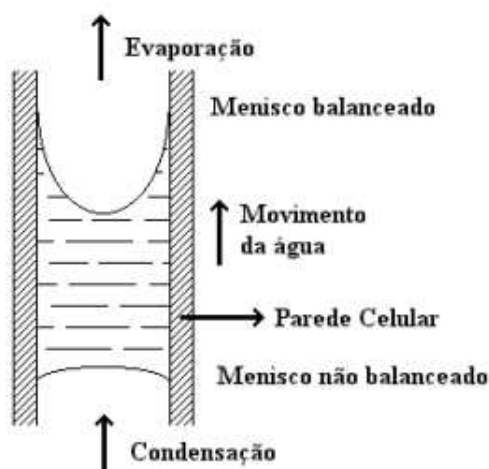


FONTE: Siau (1971).

E ao passo que o conteúdo de umidade na superfície e no núcleo de uma peça de madeira for maior que o ponto de saturação das fibras, o movimento de umidade ocorre através do fluxo capilar como resultado das forças de tensão superficial (SILVA, 2007). Estas são causadas por forças intermoleculares dos líquidos, que são responsáveis pelo fenômeno de capilaridade, ou seja, ascensão de líquidos em tubos capilares.

Kollmann; Côté (1968); Siau (1984); Simpson (1991); Jankowsky (2009) descrevem esse fluxo de uma maneira simplificada: no interior de um tubo capilar, há a existência de um menisco balanceado (forma côncava - evaporação) e um menisco não balanceado na parte oposta (forma quase plana - condensação). Conforme Kollmann; Côté (1968); Siau (1984); Klitzke (2007), toda vez que se evapora a umidade no menisco não balanceado, há condensação em outro e a diferença de tensões entre esses meniscos provocará o movimento da água (FIGURA 4).

FIGURA 2-ESQUEMA DO MOVIMENTO DA ÁGUA NOS CAPILARES DA MADEIRA



FONTE: Kollmann (1959).

Ainda segundo Kollmann (1959) Batista (2009), em uma rede de tubos capilares com diferentes diâmetros, ocorrem forças de tensão nos meniscos balanceados. Desse modo, os

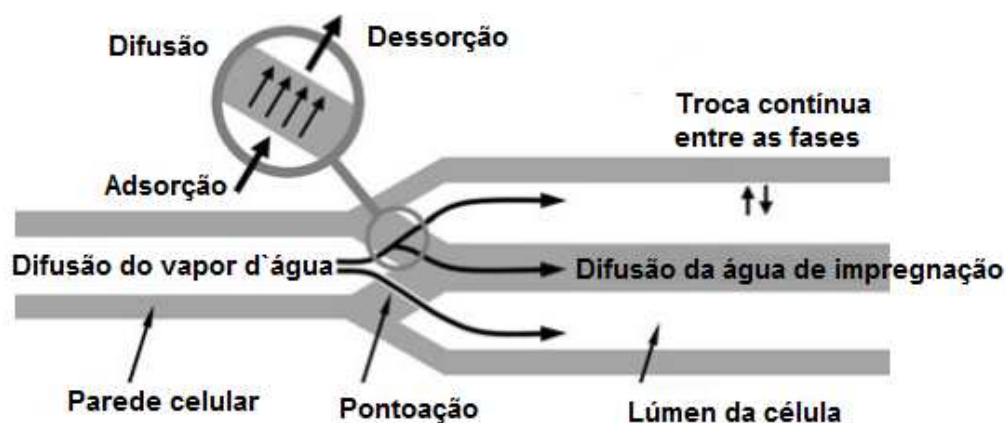
tubos estreitos retiram líquidos dos tubos mais largos, ou seja, quando a pressão de vapor diminui com o decréscimo do diâmetro do capilar, a tensão superficial aumenta e, conseqüentemente, aumenta a tensão capilar.

Stamm (1964) complementa que o movimento capilar é favorecido pelo aumento da temperatura, pela existência de bolhas de ar no interior das células e pelo aumento do diâmetro das pontuações, o que, segundo Tomaselli (1981), torna mais complexo o fluxo de água na madeira acima do ponto de saturação das fibras. Siau (1984); Tomaselli (1981); Batista (2008), avaliando a secagem da madeira através de altas temperaturas, afirmaram que a existência de bolhas de ar no interior da madeira reduz o fluxo capilar de maneira bastante significativa. Hart (1965) ainda completa que a presença de bolhas de ar dentro das cavidades celulares, em função da pressão do ar aliada à pressão do vapor d'água produzidos pelo aquecimento, fazem com que a água se movimente através das pontuações para as células adjacentes.

2.6.1.2 Fluxo água de impregnação

A secagem da madeira, ou seja, o fluxo da água abaixo do ponto de saturação das fibras (água de impregnação), é interpretado por autores como Kollmann (1959); Kollmann; Côté (1968); Siau, (1971) como um processo puro de difusão, também conhecido como transporte instável ou não constante. O fluxo de água no processo de difusão é regido pela lei de *Fick*, sendo o fenômeno considerado como o fluxo e o gradiente variáveis no tempo e no espaço. Nessa situação, qualquer variação de umidade da madeira implica modificações internas estruturais num intervalo de espaço e tempo (KOLLMANN, 1959; KOLLMANN; CÔTÈ 1968). Segundo Stamm (1964), o processo de difusão de um sistema poroso é governado por três processos: difusão de vapor, sorção e difusão da água ligada na parede da célula da madeira, representado na Figura 5.

FIGURA 3-ESQUEMA DO FLUXO DE ÁGUA DA MADEIRA NA DIREÇÃO LONGITUDINAL



FONTE: Krabbenhoft; Damkilde (2004).

O fluxo da água de impregnação ocorre pelo movimento de difusão através de gradientes de umidade, que se estabelecem nas paredes celulares. A movimentação das moléculas de água adsorvidas junto aos grupos hidroxílicos (OH), de locais de alta para baixa umidade, requer menor quantidade de energia do que a necessária no sentido inverso (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Portanto, conforme Engelund et al. (2013), é natural supor que a sorção possa ser controlada pela difusão entre a interface lúmen-parede celular e o interior da parede célula, conforme evidenciado na Figura 5.

O vapor d'água move-se na madeira, pelo interior das cavidades das células e das aberturas que as ligam, por meio do fenômeno de difusão, que ocorre em consequência de um gradiente, chamado de "gradiente de pressão de vapor" (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

De acordo com Hart (1966), a difusão do vapor d'água é de 10 a 1.000 vezes maior que a difusão da água higroscópica nas paredes das células. Entretanto, a difusão de vapor d'água a temperaturas abaixo da ebulição tem menor contribuição no processo de secagem, devido ao pequeno número de aberturas que ligam as células entre si. Dessa forma, apesar da facilidade de difusão do vapor d'água através das aberturas naturais da madeira, a maior parte do movimento de água na madeira ocorre por meio da parede celular (HART, 1966; SIAU, 1971; ENGELUND et al. 2013).

Siau (1971) também analisa o fenômeno de difusão da água de impregnação com o auxílio de modelos, usando a analogia com fenômenos de resistência e condutividade em sistemas elétricos. O mesmo autor afirma, ainda, que o coeficiente de difusão sofre a influência da umidade, da temperatura e do peso específico da madeira aumentam com a temperatura e a umidade e diminuem com a densidade da madeira.

Outro fator que contribui na facilidade da água de impregnação é a direção estrutural. O coeficiente de difusão longitudinal é, em média, cerca de duas a quatro vezes maior que o transversal, à umidade de 25%, e de 50 a 100 vezes maior, à umidade de 5%, de acordo com Siau (1971). Por seu turno, a difusão na direção radial é cerca de 17% a 25 % maior que na tangencial, de acordo com o mesmo autor.

2.6.1 PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS

A madeira recentemente cortada também é chamada de madeira "verde". Nesse estado, as paredes das células estão saturadas com água e, além disso, esta é encontrada de forma líquida e vapor-líquida misturada nos lúmens das células (ENGELUND et al. 2013). Assim, quando a madeira começa a secar e perder umidade, as paredes começam a ficar

insaturadas. O teor de umidade no ponto de transição do estado saturado para insaturado é definido como o ponto de saturação de fibra (PSF) (ENGELUND et al. 2013).

Segundo Stamm (1971), esse fenômeno normalmente não ocorre com o mesmo teor de umidade auferido durante a secagem, visto que a água líquida ainda pode estar presente nos lúmens à medida que a água está adsorvida das paredes celulares de outras partes da mesma amostra (ARAÚJO et al. 1992; HERNANÁNDEZ; BIZON, 1994; ALMEIDA; HERNÁNDEZ, 2006).

Outra definição de FSP foi proposta por Stone; Scallan (1967), como o teor de umidade correspondente à "quantidade de água contida na parede celular saturada". Pode-se dizer que tal definição não é operacional, pois a umidade não é, necessariamente, distribuída igualmente dentro de uma amostra de madeira (ENGELUND et al. 2013).

Segundo Engelund et al. (2013), deve-se analisar a saturação das fibras não como um estado atingido por certo teor de umidade (isto é, um ponto), mas como uma transição gradual da situação em que novas moléculas de água que entram na parede celular resultam na quebra de ligações hidrogênio intra e intermoleculares nos polímeros de células de madeira (ou seja, cerca de 30% a 40% de umidade).

O ponto de saturação das fibras é importante, segundo Rasmussen (1961), devido à sua relação com a quantidade de energia necessária para secar a madeira e com a alteração de suas propriedades físicas e mecânicas. Portanto, o conceito mais usual do ponto de saturação das fibras é definido em termos da condição teórica da madeira quando suas cavidades celulares são completamente desprovidas de água, enquanto as paredes celulares são saturadas com água (JANKOWSKA; KOZAKIEWICZ, 2016).

2.7 PERMEABILIDADE DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*

A movimentação dos fluidos na madeira pode ser medida de diferentes formas. Uma delas é por intermédio da permeabilidade, que atua como um forte indicativo sobre o deslocamento interno de fluidos (BARAÚNA et al. 2014). Siau (1971) observa que a condição fixa para o escoamento de fluidos através da madeira obedece à lei de Darcy, o que ocorre quando fluxo e gradiente são constantes em espaço e tempo.

Fluxo é a taxa de escoamento por unidade de área da seção transversal, expresso em $[\text{cm}^3(\text{fluido})/\text{cm}^2(\text{área})\text{seg.}]$. Gradiente é a diferença de pressão, causando o escoamento por unidade de comprimento da espécie na direção do escoamento, expresso em $(\text{atm.}/\text{cm})$ ou $(\text{dina}/(\text{cm}^2\text{cm}))$. Assim, a condição para a lei de Darcy é que a permeabilidade é igual ao fluxo dividido pelo gradiente; desse modo, a permeabilidade é a medida da facilidade com que um fluido escoar através de um material poroso debaixo da influência de um gradiente

de pressão. A lei de Darcy pode ser escrita para fluido incompressível, conforme a Equação 1.

$$k = \frac{\text{fluxo}}{\text{gradiente}} = \frac{VtA}{\Delta P/L} = \frac{VL}{tA\Delta P}$$

Onde:

k = permeabilidade, cm³ (líquido) cm/dina seg;

V = volume do líquido fluindo através da espécie, cm³;

L = comprimento da espécie na direção do fluxo, cm;

t = tempo do fluxo, seg;

A = área da seção transversal da espécie perpendicular para direção do fluxo, cm²;

ΔP = diferença de pressão entre a entrada e a saída final da espécie, dina/cm².

A magnitude do fluxo de massa de um fluido é medida por meio da permeabilidade. Fluidos são transportados através de um sólido poroso, sob a influência de um gradiente de pressão; para isso ocorrer, um sólido deve ser poroso para ser permeável, mas isso não significa, necessariamente, que todos os corpos porosos sejam permeáveis.

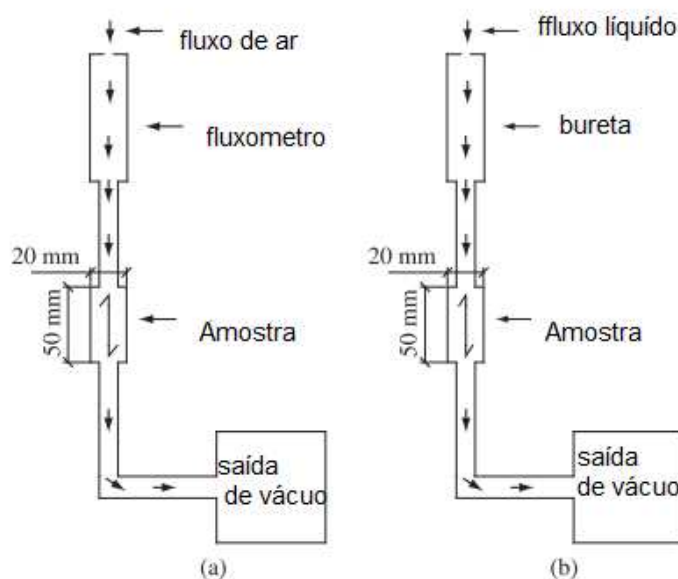
Ainda conforme SIAU (1984), a permeabilidade só pode existir se os espaços vazios forem interconectados por aberturas. Por exemplo, a madeira das coníferas é mais permeável porque os lúmens dos traqueídios são conectados por um par de pontuações com aberturas das suas membranas. Se essas membranas são ocluídas por incrustações ou sofrem aspiração, a madeira assume uma estrutura fechada e pode ter a permeabilidade reduzida a zero.

Já para as folhosas, Lepage et al. (1986); Panshin; De Zeeuw (1980) afirmam que os principais meios para a propagação de um fluido em madeiras de folhosas são os vasos – estruturas tubulares alinhadas longitudinalmente, que se comunicam por meio de placas de perfuração e de pontuações. Segundo os autores, quando os vasos têm placas de perfuração simples, a circulação de líquidos é favorecida, já que as aberturas são maiores e comportam-se como um caminho sem obstáculos.

O diâmetro dos vasos, sua frequência e distribuição, o tipo de pontuação e a quantidade também afetam a permeabilidade, principalmente quando o diâmetro é superior a 10 µm e há grande possibilidade de formação de tilos – que são expansões de células parenquimáticas adjacentes, devido a diferenças de pressão que obstruem os vasos. Além disso, a deposição de substâncias incrustantes no vaso pode causar sua oclusão parcial ou total e, conseqüentemente, reduzir a permeabilidade da madeira, sendo uma barreira ao fluxo, principalmente no cerne (ALZATE, 2004; COMSTOCK, 1970; LEPAEGE et al. 1986; LEHRINGER et al. 2009).

Existem vários métodos para determinação da permeabilidade. Dentre eles, o fluxômetro tem sido utilizado por muitos autores Silva et al. (2010); Baraúna et al. (2014a); Teixeira (2015); Rezende et al. (2018); Brito et al. (2019), valendo-se de aparatos semelhantes ao da Figura 6.

FIGURA 4-ESQUEMA DO APARATO PARA MEDIÇÃO DA PERMEABILIDADE AO AR E AO LÍQUIDO



FONTE: Silva, (2010).

Esse método consiste em um fluxo em estado estacionário, sendo a taxa e o fluxo constantes, com deslocamento de subida de água, onde um vácuo parcial é aplicado na saída final do corpo-de-prova, que puxa o ar do tubo, causando um deslocamento de água para cima (SIAU, 1971). Nesse método, também é utilizado um fator de correção para viscosidade, sendo indicado para tubos de deslocamento grande.

Segundo Kollmann; Côté (1968); Siau (1971), independentemente do aparato utilizado, o procedimento para a medição da permeabilidade gasosa é mais simples quando comparado a líquidos, devido à eliminação de problemas associados a forças capilares. Também, podem ser descontadas as principais diferenças da lei de Darcy no fluxo gasoso, como expansão do gás e difusão de *Knudsen*. Medições gasosas são mais convenientemente feitas com ar, mas são necessárias precauções. Siau (1971) sugere ser necessário arear o líquido ao máximo, bem como ser considerada a matéria particulada – que pode entupir as minúsculas aberturas das pontoações –, o que deve ser removido por microfiltração.

Tal aparato também foi desenvolvido por Baraúna (2010) para a avaliação da permeabilidade da madeira de Amapá e Faveira. Em todos os trabalhos, esse mecanismo

não forneceu valores para a medição do fluxo de líquido ou ar na direção radial da madeira, sendo somente aplicado para direção longitudinal.

Além desses métodos, existem outros alternativos. Ahmed; Chun (2011) avaliaram a permeabilidade na direção axial, radial e tangencial em madeira de *Tectona grandis*, com base na adsorção da solução de safranina. Por seu turno, Perre; May (2007) usaram um aparelho constituído por uma câmara climática e uma micro balança, e avaliaram a perda de umidade de duas formas, ambas sem contato: uma com dois feixes de laser e outra com um termômetro infravermelho; com os resultados, calcularam as taxas de secagem e a temperatura *versus* tempo.

Outros métodos de avaliação das taxas de fluxo de água foram realizados, principalmente, com madeira do gênero *Eucalyptus*. Ciniglio (1998) avaliou a perda de massa, em função do tempo, em condição drástica, com temperatura de 100°C, em amostras de *E. urophylla*, com dimensões 1 x 5 x 10 cm, estimando as taxas de secagem da água livre, da água adsorvida e da água total. Metodologia semelhante foi adotada por Barbosa et al. (2005), que avaliaram a secagem em estufa, a 100°C, de clones de *Eucalyptus*. Por esse método, são fornecidos valores para a saída da água, com base na massa, na área de secagem e no tempo, com unidade igual a $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Independentemente do método utilizado, diversos fatores interferem na sua determinação. Dentre eles a variação entre espécies é um fator importante que afeta a permeabilidade da madeira. Segundo Siau (1984), existe grande variação para coníferas e folhosas, respectivamente, devido à variação da estrutura da madeira, da quantidade e da distribuição de elementos condutores, bem como da presença de obstruções e sua intensidade na madeira. Outro fator é o comprimento da amostra: a permeabilidade decresce quando o comprimento da amostra aumenta.

No cerne e no alburno, o fluxo e a permeabilidade também são variáveis. Silva et al. (2010) observaram que o fluxo no cerne de *E. grandis* é cerca de 28 vezes inferior ao do alburno. De forma geral, o alburno tem atividade fisiológica de condução, enquanto o cerne apresenta baixa ou nenhuma atividade condutora, uma vez que possui pontoações obstruídas, extrativos e substâncias insolúveis em compostos orgânicos depositados, podendo apresentar tilos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; BRADIC et al. 2007;).

O alburno contém vasos relativamente abertos para a condução de água e minerais e, portanto, alta permeabilidade. Por outro lado, o cerne tem uma proporção maior de compostos orgânicos de baixo peso molecular (extrativos), o que pode causar oclusão total ou parcial dos vasos de condução de fluidos, além das tiloses (SIAU, 1984). As propriedades da madeira também afetam essa movimentação, a exemplo da densidade – que apresenta relação inversa com a taxa de secagem e a umidade inicial (ZANUNCIO et al. 2013).

2.8 EFEITO DA ESTRUTURA ANATÔMICA E NA MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*

A estrutura anatômica da madeira desempenha importante papel sobre a movimentação da água na madeira, podendo facilitar ou prejudicar o seu fluxo (MONTEIRO 2014). Considerando o movimento da água, principalmente na água de impregnação, há uma ampla diferença entre coníferas e folhosas. As coníferas possuem como sistema principal de condução de líquidos os traqueoides axiais, enquanto as folhosas possuem os vasos (BURGUER; RICHTER, 1991; SIAU 1984; KEDROV 2012; ENGELUND et al. 2013). Além disso, a complexidade das estruturas anatômicas entre as espécies implica considerável variação do fluxo de água na madeira. Siau (1971) relata que os valores de permeabilidade são superiores para as folhosas, quando em comparação com as coníferas.

Os vasos são as principais estruturas no sistema de condução de líquidos na madeira das folhosas, assim como no gênero *Eucalyptus* (SIAU 1971, BURGUER; RICHTER, 1991; KEDROV 2012; ENGELUND et al. 2013). A permeabilidade axial está diretamente relacionada à sua distribuição, ao seu diâmetro e ao conteúdo dos vasos (KOLLMANN 1959; STAMM, 1975). Estes apresentam estrutura tubiforme; portanto, a água conduzida longitudinalmente precisa percorrer um tubo fechado em direção ao outro, através de suas extremidades perfuradas, denominadas “placas de perfuração” (BURGUER; RICHTER, 1991; KEDROV 2012).

Os elementos vasculares do *Eucalyptus* geralmente são curtos e com placa de perfuração simples (NISGOSKI; et al. 1998), apresentando pouca resistência à passagem dos fluidos. Estes podem ser solitários ou múltiplos, comunicando-se com os adjacentes por meio de pares de pontoações (PANSIN; ZEEUW, 1980), que auxiliam na passagem dos fluidos entre eles (KEDROV, 2012).

Além das estruturas mencionadas, a madeira de *Eucalyptus* também pode apresentar tiloses, que podem obstruir os vasos. Estas consistem em proliferações de células parenquimáticas adjacentes que penetram pelas pontoações dos vasos. O fenômeno é atribuído a diferenças de pressão entre vasos e células de parênquima contíguas; conseqüentemente, sua presença interrompe de forma parcial, ou totalmente, a passagem de água pelos vasos (BURGUER; RICHTER, 1991; SIAU, 1971).

Na direção transversal, o raio ou parênquima radial apresentam importância na movimentação dos fluidos (MONTEIRO, 2014). Estes se originam com base em células iniciais radiais do câmbio, cuja formação é completamente diferente das fusiformes, como as fibras, e apresentam dimensões variáveis, podendo ser unisseriados ou multisseriados (ESTEBAN et al. 2003). Essas estruturas auxiliam na saída da água, conforme relatado por

Ahmed; Chun (2011), que encontraram o efeito significativo da altura do raio no fluxo de solução de safranina na madeira de *Tectona grandis*.

Já os raios são elementos que desempenham como função primordial o armazenamento de substâncias nutritivas, dispostas radialmente no tronco; além disso, também são responsáveis pelo transporte horizontal de água na madeira (BURGUER; RICHTER, 1991). Os raios possuem pontoações que se ligam aos elementos vasculares (pontoações raio-vasculares) e outras estruturas; tais pontoações presentes nos raios auxiliam na movimentação transversal da água (BURGUER; RICHTER, 1991; KEDROV, 2012).

Tanto as pontoações raio-vasculares quanto as intervasculares apresentam relação com a movimentação dos fluidos nas folhosas. Segundo Choat; Cobb; Jansen (2008), a condução dos fluidos na madeira é influenciada tanto pela estrutura dessas pontoações, quanto pelo seu diâmetro médio e pela sua área superficial total conectada entre os vasos. Segundo Monteiro; Lima (2020), o aumento do diâmetro das pontoações raio-vasculares na direção radial aumenta o fluxo da água adsorvida e as pontoações intervasculares também aceleram o fluxo da água livre na madeira de *E. urophylla*.

É importante relatar, também, que algumas folhosas apresentam em sua estrutura traqueoides vasculares, que são vestígios da evolução ocorrida no reino vegetal (BURGUER; RICHTER, 1991). Assemelham-se a elementos de vaso do lenho tardio, porém, seus extremos são imperfurados e, como qualquer outro traqueoide, apresentam pontoações areoladas em suas paredes, desempenhando a função de condução de líquidos no tronco das árvores, e são facilmente confundidos com poros pequenos que podem ocorrer em algumas espécies de Eucalipto. Baldin et al. (2017) relataram a presença de traqueoides vasicêntricos na estrutura anatômica na madeira de *Eucalyptus benthami*.

Características anatômicas constituem-se em um índice de qualidade, além da composição química e as características físicas da madeira, compondo os fatores que se relacionam à alteração das propriedades da madeira (HAYGREEN; BOWYER, 1982). Segundo Oliveira (1997), a relação entre o volume ocupado pelos vasos, fibras (espessura da parede) e parênquima é fator importante nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de diferentes espécies de eucaliptos, além da sua permeabilidade a líquidos e gases.

2.9 EFEITO DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA NA MOVIMENTAÇÃO DA ÁGUA NA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*

Os constituintes químicos desempenham papel importante no movimento de água na madeira, principalmente os extrativos, que apresentam componentes higroscópicos. Estes,

por apresentarem afinidade com a água, podem alterar a dinâmica do fluxo e dificultar a passagem do fluido (WANGAARD; GRANADOS, 1967). Segundo Milota et al. (1995), madeiras com elevado teor de extrativos são menos permeáveis do que madeiras com menor quantidade desses componentes, uma vez que há obstrução no caminho do fluxo da água. Nesse contexto, o conhecimento da composição química é necessário para os diferentes usos, assim como sua relação com as propriedades da madeira na produção de polpa e sua afinidade com solventes, conferindo, dessa forma, relação com a água da madeira através de cada substância química.

Se abordada a questão dos estados da água na madeira pelo lado químico, e não pelo lado físico, os grupos hidroxila dos polímeros são o principal componente químico em termos de atração de moléculas de água (Engelund; et al. 2013). Esses grupos hidroxila, capazes de formar ligações de hidrogênio com moléculas de água, são denominados locais de sorção juntamente com outros grupos químicos polares que atraem água (BERTHOLD et al. 1996).

Os locais de maior sorção são encontrados nas hemiceluloses, seguidas de celulose e lignina (Christensen; Kelsey, 1959). A celulose é agregada em microfibrilas de madeira, sendo que dois terços dos grupos hidroxila são ligados entre e dentro das cadeias de celulose que constituem as microfibrilas. Esses grupos hidroxila são inacessíveis, enquanto os grupos hidroxila na superfície da microfibrila configuram possíveis locais de sorção (MARE'CHAL; CHANZY, 2000; HOFSTETTER et al. 2006).

A celulose, embora seja insolúvel em água, possui grande afinidade com esta. Conforme Sjöström; Alén (1998); Moreschi (2014), a possibilidade de penetração de água ocorre nas áreas cristalinas da celulose e elas são altamente resistentes às substâncias químicas. Essa afinidade da água com a celulose é explicada pelo fenômeno da histerese (SIAU, 1971; SKAAR, 1972; KOLLMAN 1959; GALVÃO; JANKOWSKI, 1985; ENGELUND, et al. 2013). Quando a água adentra a parede celular, causa “inchamento” do material, ocupando espaço entre as microfibrilas e, assim, forçando-as a se separarem. Além disso, as microfibrilas, em si, sofrem mudança de dimensões (Zabler et al. 2010; Toba et al. 2012).

A celulose, insolúvel na maioria dos solventes, é fortemente influenciada pelas substâncias que a acompanham na parede celular. Compostos como gorduras, ceras, proteínas e pectina podem ser facilmente removidos por extração com solventes orgânicos e álcalis diluído (LINO 2015). A dissolução da celulose é possível por meio de conversões heterogêneas em ésteres (celulose nitrato e celulose acetato) ou éteres (metilceluloses, caboximetilceluloses) solúveis. Pode, também, ser diretamente dissolvida em ácidos concentrados. Contudo, o tratamento com ácidos pode conduzir a uma clivagem hidrolítica das cadeias de celulose, gerando produtos de degradação como ésteres ou adição de compostos (FENGEL; WEGENER, 1984).

As hemiceluloses também desempenham importante função no processamento e nas propriedades do papel, pois podem afetar importantes interações químicas entre fibras, água e outros produtos químicos utilizados na sua fabricação. De acordo com Christiermin; Henriksson (2003), devido a maior afinidade com a água, as hemiceluloses favorecem o inchamento da fibra, tornando-a mais flexível. Segundo o mesmo autor, nas madeiras do gênero *Eucalyptus*, a hemicelulose predominante é a O-acetil-4-Ometilglicuronoxilanas, a qual é polissacarídeo que consiste de, aproximadamente, 200 monômeros de β -D-xilopiranoses unidos por ligações glicosídicas (1- 4). Algumas unidades de xilose possuem uma cadeia lateral, consistindo de um resíduo de ácido 4-O-metil-D-glicurônico, ligado diretamente no carbono 2 da xilose. De cada dez unidades de xilose, sete contêm um grupo acetila ligado no C-2 ou, mais frequentemente, no C-3.

A presença dessa grande quantidade de grupos acetilas aumenta a solubilidade das xilanas não somente pelo aumento de polaridade, mas também pelo fato de tornar mais amorfa a estrutura dessas hemiceluloses (DANIELSSON; LINDSTRÖM, 2005). Pedrazzi et al. (2015) citam que as xilanas são hemiceluloses facilmente removíveis em presença de álcali. Essa facilidade é atribuída à sua estrutura amorfa, pois contêm grande quantidade de grupos ácidos que favorecem as reações dessas hemiceluloses com o hidróxido de sódio durante o processo *kraft*.

Conforme Wastowski (2018), o fato de as hemiceluloses não serem cristalinas implica ligações químicas e grupos funcionais mais acessíveis ao ataque químico, sendo os grupos hidroxílicos mais abundantes. Ainda, conforme o mesmo autor, os principais processos degradativos são a hidrólise em meio ácido e a oxidação; a hidrólise ataca as ligações do grupo acetal e éster, o que leva à formação de ácido acético, aumentando a acidez do meio e conduzindo ao ataque de novos grupos.

Extrativos são considerados componentes químicos acidentais, não essenciais na estrutura da parede celular, de natureza orgânica, baixo peso molecular e solúveis em solventes orgânicos neutros ou água. Os extrativos compreendem uma ampla classe de compostos químicos, que podem ser removidos utilizando-se solventes orgânicos ou água (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998;). Os constituintes da madeira solúveis em água são, principalmente, alguns sais ou minerais inorgânicos, açúcares e polissacarídeos. Os compostos solúveis em solventes orgânicos pertencem às classes dos ácidos e ésteres graxos, álcoois de cadeia longa, esteróides, compostos fenólicos e glicosídeos (SJÖSTRÖM; ALÉN, 1998; FREIRE et al. 2002; SUN; TOMKINSON, 2003; MORAIS et al. 2005)

Barbosa, et al. (2005), avaliando os extrativos da madeira de *E. grandis* através de cromatografia gasosa e espectroscopia de massa, encontraram mais de 140 compostos em três diferentes solventes, classificando esses compostos em diferentes grupos químicos,

como: ácidos graxos, esteróides, álcoois de cadeia longa, carboidratos e compostos aromáticos. Ainda, conforme o autor, os esteroides e os ácidos graxos foram as substâncias mais presentes nas análises, totalizando 61% de esteróides e 20,89% de ácidos graxos, concluindo-se que esses foram os principais constituintes da madeira analisada.

Buchanan (1963) informa haver uma considerável variação na distribuição dos extrativos através da madeira de uma dada árvore. Açúcares, e outros constituintes da seiva, e as substâncias de reserva como graxas e amidos são encontradas no alburno. Materiais fenólicos, contudo, são usualmente depositados no cerne. Existe uma variação na quantidade de material depositado ao longo da altura da árvore e entre o tronco e os galhos.

A composição química da madeira (principalmente o teor de extrativos) e suas inter-relações com a água e com a retração volumétrica têm sido objeto de estudo por parte de diversos autores (JANKOWSKY; GALVÃO 1979).

Nearn (1955) verificou que, devido à ação de enchimento dos extrativos solúveis em água, espécies com alto teor de extrativos apresentam maior estabilidade dimensional, menor umidade no ponto de saturação das fibras e umidades de equilíbrio mais baixas do que espécies que possuam pequenas quantidades de extrativos em sua composição química. O autor considera que esses componentes ocupam uma parte do espaço da parede celular que normalmente seria ocupado pela água. Verificou, também, que a extração em água quente provocava um aumento na umidade de equilíbrio quando a umidade relativa era de 60,0% ou mais, sendo que esse efeito não se verificou quando a umidade relativa foi de 40,0% e 20,0%.

Choong (1969), trabalhando com dez espécies de pinheiros da região sul dos Estados Unidos, sugere que os extrativos solúveis em água se encontram, na sua totalidade, dentro da parede celular, o que explica a influência na higroscopicidade e na estabilidade dimensional da madeira. Por sua vez, os extrativos insolúveis em água estão, em boa parte, confinados nos capilares grossos, afetando o peso específico da madeira, e sua remoção afeta a higroscopicidade, diminuindo o seu peso.

A lignina, por apresentar estrutura tridimensional, contribui para rigidez e resistência da parede celular às forças de compressão, resultando em estrutura resistente ao impacto, compressão e quebra (PHILIPP; D'ALMEIDA, 1988). Conforme Gellerstedt et al. (2009), a lignina inibe o "inchaço" das paredes celulares na água; desse modo, a água vaza de uma parede celular lenhosa, isto é, torna-a impermeável. Esse é um pré-requisito ao desenvolvimento de células para um transporte eficiente de água e nutrição, e a introdução de lignina pode, portanto, ser considerada a chave para a evolução das plantas vasculares.

Poucos são os trabalhos que relacionam as propriedades químicas com o movimento de água na madeira e seus respectivos usos. SKAAR (1972) estimou que a celulose contribui com 47% da capacidade total da madeira em trocar água com o ar, as

hemiceluloses com 37% e a lignina com 16%. O autor ressalta, porém, que as curvas de adsorção dos constituintes, quando isolados, não representam a atuação destes na madeira bruta, cuja capacidade adsortiva não corresponde à somatória de seus constituintes.

Baraúna et al. (2014), avaliando o efeito da estrutura anatômica e química da madeira de Amapá, obtiveram influência dos extrativos e teor de cinzas na permeabilidade da madeira. Silva (2007) relatou que madeiras com alto teor de lignina apresentam maior passagem de fluido e que um aumento no teor de cinzas torna a madeira mais permeável.

Segundo Kollmann et al. (1975), a permeabilidade da madeira é influenciada pelas características químicas e anatômicas. Tais características podem contribuir de acordo com a variação existente entre as espécies, quantidade de vasos, diâmetro dos vasos, quantidade de extrativos, posição no fuste (cerne, alburno), tamanho da amostra utilizada, umidade, entre outros fatores.

TRUGILHO et al. (1996) estudaram as características físico-químicas da madeira de *Eucalyptus saligna* e constataram que o teor de lignina apresentou correlação negativa com a densidade e o teor de holocelulose, indicando que, quanto menor for o teor de lignina, maior será o teor de holocelulose e menor será a densidade da madeira. O mesmo autor verificou que o teor de extrativos totais e de lignina diminuem com a idade, enquanto o teor de holocelulose aumenta.

Jankowsky; Galvão (1979), estudando a influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira em *Araucária angustifolia*, *Swietenia macrophylla*, e de *Corymbia citriodora*, encontraram relações entre a higroscopicidade da madeira com teor de extrativos. Um acréscimo do teor de extrativos ocasionou um decréscimo da umidade de equilíbrio nas três espécies estudadas.

Portanto, o conhecimento das características químicas e suas relações com o movimento da água e as propriedades físicas ainda são carentes de literatura, visto que as pesquisas e estudos, nesse contexto, podem contribuir de forma especializada para madeiras do gênero *Eucalyptus*, as quais são fonte de matéria-prima da indústria madeireira. Conforme Braz et al. (2014), o rápido crescimento das árvores em povoamentos florestais, principalmente para produção de celulose, contribui para a utilização de árvores cada vez mais jovens, o que pode comprometer sua formação e constituição, bem como suas propriedades anatômicas, físicas e químicas e os respectivos usos, principalmente na secagem da madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE COLETA

As árvores utilizadas nesta pesquisa foram provenientes de um plantio clonal, localizado na fazenda Monte Alegre, no município de Telêmaco Borba-PR, pertencente à empresa *Klabin S.A.* De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), o município se localiza na região centro-leste paranaense, a uma latitude 24°19'26" sul e longitude 50°36'57" oeste, e 700 metros de altitude. O clima é subtropical, com verões quentes, inverno com poucas geadas e concentração maior das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A precipitação média na região é de 257,87mm para os períodos mais chuvosos.

3.2 SELEÇÃO DAS ÁRVORES E OBTENÇÃO DAS TORAS

Foram selecionados dois híbridos – um de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e outro de *Eucalyptus grandis* x *E. camadulensis* – e um clone de *Eucalyptus saligna*, plantados com espaçamento de 2 x 3m, os quais apresentavam oito anos de idade no dia da coleta. Para seleção das árvores, buscou-se abranger indivíduos com diâmetros maiores que 20cm, de acordo com as informações fornecidas pela empresa (TABELA 3). Dessa forma, foram derrubadas três árvores para cada material genético, onde foram coletados de talhões próximos entre si. O material foi amostrado ao acaso, evitando-se indivíduos de bordadura, fuste tortuoso, com presença de bifurcação e aspecto fitossanitário.

TABELA 2-INFORMAÇÕES SILVICULTURAIS DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

Clone	Material genético	Número de árvores	Idade(anos)	DAP (cm)	Altura média (m)
1	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	3	8	23,01	36,3
2	<i>E. saligna</i>	3	8	21,97	31,00
3	<i>E. grandis</i> x <i>E. camadulensis</i>	3	8	32,15	36,0

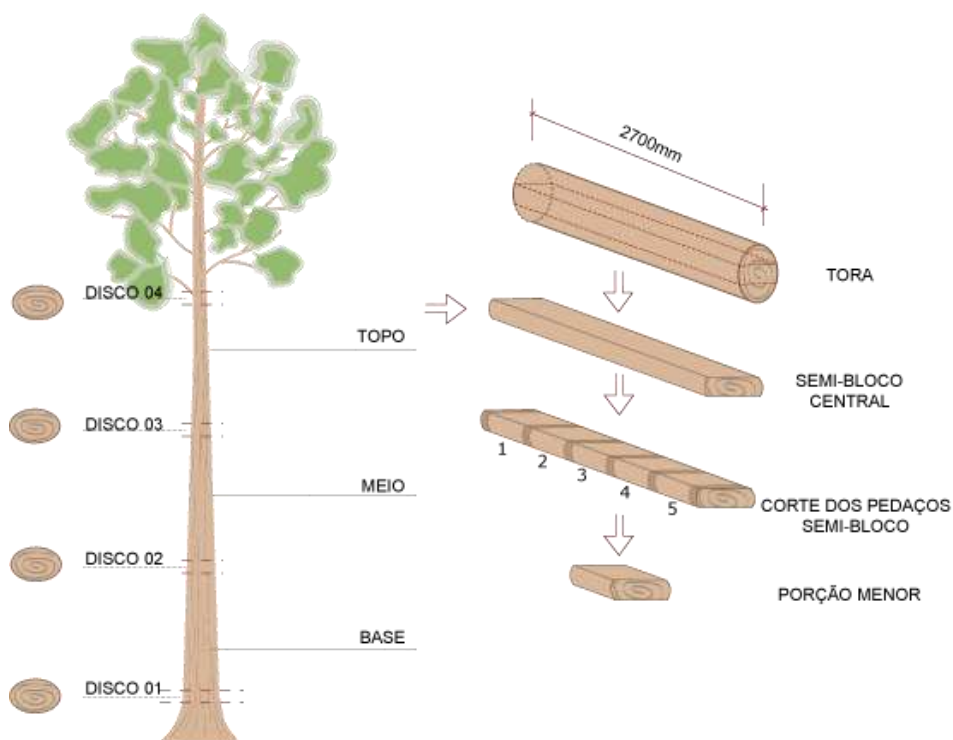
NOTA: DAP= diâmetro altura do peito.

FONTE: O autor (2020)

Após a derrubada das árvores, foram traçadas três toras por árvore, sendo uma na base, outra no meio e uma no topo, até a altura comercial aproximada de 12m. As toras foram traçadas com 2,70m de comprimento, totalizando nove por clone, utilizadas para as

análises das propriedades físicas, químicas, anatômicas, permeabilidade ao ar e fluxo de água pela taxa de secagem drástica. Entre as toras, também foram retirados quatro por árvore (12 por clone) com, aproximadamente, 5cm de espessura, identificados e numerados (árvore e posição de retirada no fuste), para análises de porcentagem de cerne e massa específica básica da madeira (FIGURA 8).

FIGURA 5-COLETA DOS DISCOS E TORAS PARA DESDOBRAMENTO DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.



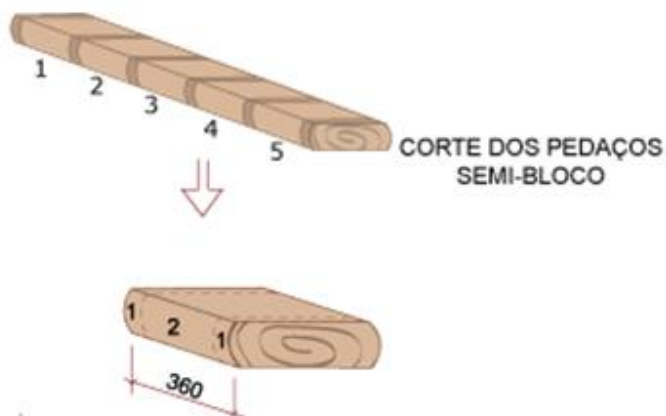
FONTE: O autor (2020).

3.3 PROCESSOS DE DESDOBRAMENTO

As toras foram desdobradas na serraria da empresa *Planeta Industrial de Madeiras* LTDA, no município de Telêmaco Borba – PR. Foram processadas em serra fita vertical simples, em que foram retiradas duas costaneiras para obtenção de um semi-bloco central com 70mm de espessura, 2.700mm de comprimento e largura corresponde ao diâmetro das toras. Posteriormente, os semiblocos foram empilhados para o transporte até o Laboratório de Usinagem da Madeira (LUM), na Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba – PR.

Cada semibloco, de cada posição (base, meio e topo) da árvore, foi reduzido em cinco porções de 360mm de comprimento cada, totalizando 45 peças por material genético, para facilitar a confecção dos corpos de prova no LUM, da UFPR (FIGURA 9).

FIGURA 6-REDUÇÃO DO SEMIBLOCO CENTRAL EM PEÇAS PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.

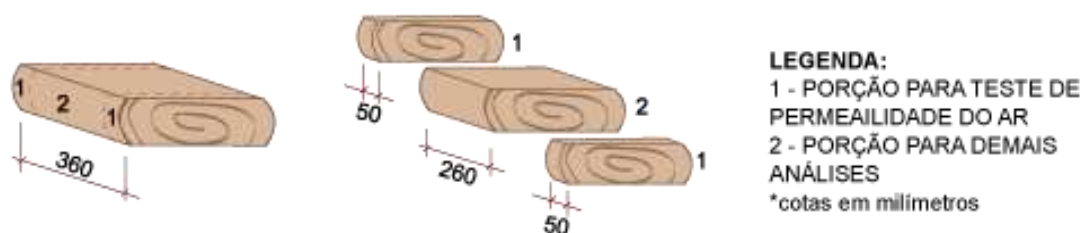


FONTE: O autor (2020).

3.4 CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para confecção dos corpos de prova, as porções menores retiradas do semibloco (360mm) foram reprocessadas em 260 mm para as análises de fluxo de água pela taxa de secagem, bem como propriedades físicas e químicas. E, para as análises da permeabilidade ao ar, foram reprocessadas em 50 mm para, posteriormente, obterem-se os corpos de prova (FIGURA 10).

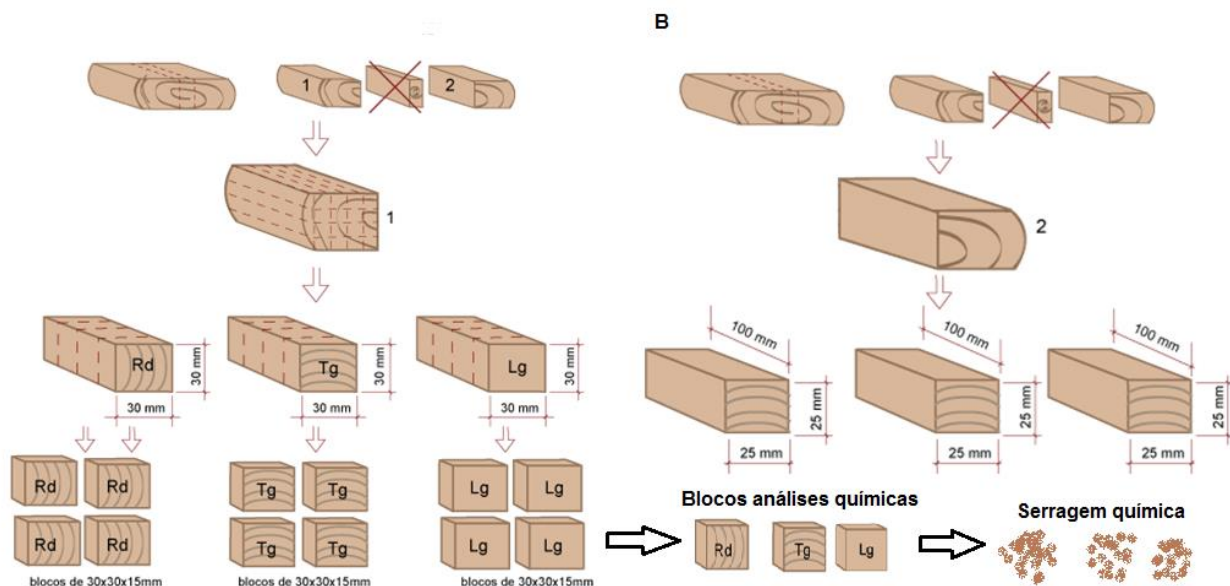
FIGURA 10-REDUÇÃO DO SEMI-BLOCO CENTRAL EM PEÇAS PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA



FONTE: O autor (2020).

Para o método de fluxo de água pela taxa de secagem, os corpos de prova foram confeccionados nos três eixos de orientação da madeira (tangencial, radial e longitudinal). Para a permeabilidade ao ar, os corpos de provas foram fabricados somente no eixo longitudinal. É importante ressaltar que as amostras para as análises químicas foram retiradas da mesma porção das amostras pelo fluxo de água, com vistas à validação das correlações entre elas (FIGURA 11).

FIGURA 7 - OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ANÁLISES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



NOTA: A= corpos de prova para o método do fluxo água, e propriedades químicas. B= corpos de prova para retratibilidade da madeira. Em que: Rd: fluxo tangencial Tg: fluxo radial Lg: fluxo longitudinal.

FONTE: O autor (2020).

3.5 PORCENTAGEM DE CERNE

A porcentagem de cerne presente nas toras foi determinada conforme a técnica da diferença de coloração descrita por Githiomi; Dougal (2012). Para tanto, foram medidos os diâmetros totais (sem casca) e do cerne de cada disco, de forma cruzada, utilizados para determinar as áreas total e do cerne, com vistas a posterior cálculo da porcentagem de cerne. Foram utilizados quatro discos por árvore (doze por material genético). A porcentagem de cerne foi determinada conforme a Equação 2.

$$\% \text{ Cerne} = \frac{AC}{AD} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

% Cerne = porcentagem de cerne (%); Ac = área do cerne (cm²); Ad = área do disco (cm²).

3.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

A avaliação das propriedades físicas foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) e Laboratório de Secagem da madeira (LSM), da UFPR, a partir de corpos de prova retirados das porções do semibloco (360mm) e dos discos. Analisaram-se a massa específica básica, a massa específica aparente, as contrações e o teor de umidade inicial no sentido base-topo das árvores.

Para a determinação da massa específica básica, os discos foram cortados em cunhas, sendo selecionadas duas opostas de melhor qualidade para a realização do ensaio. Iniciou-se pela verificação do volume das cunhas, por meio do método do deslocamento hidrostático, e, em seguida, realizou-se a secagem das amostras em uma estufa de circulação forçada de ar, primeiramente a 50°C, e, posteriormente, a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, para a determinação da massa seca, seguindo-se as recomendações da NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 2003). A umidade inicial da madeira foi quantificada pelo método gravimétrico, de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2017), com base na massa inicial (úmida) e seca da madeira.

A massa específica aparente foi determinada com a utilização de corpos de prova nas dimensões de 25 x 25 x 100mm, seguindo-se as recomendações da norma Panamericana 461 (COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT, 1972). Para tal, foram utilizados 90 corpos de prova por material genético, os quais permaneceram na câmara de climatização até 12% de umidade e estabilização da massa para realização das medições.

Os mesmos corpos de prova foram utilizados para a determinação da contração tangencial, radial, longitudinal e volumétrica, nas condições verde e a 0% de umidade. Calculou-se, também, o coeficiente de anisotropia de contração, a partir da relação das contrações tangencial e radial, em observância às recomendações da norma Panamericana – 462 (COPANT, 1972).

3.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS

3.7.1 Preparo do material

Dos pedaços menores do semibloco foram retirados pequenos blocos, que foram transformados em cavacos. Estes, por sua vez, foram reduzidos em cavacos menores, os quais foram convertidos em partículas por meio de um moinho de facas tipo Willey. Na sequência, essas partículas foram classificadas em um conjunto de peneiras, onde o material que transpassou a peneira de 60 *mesh* e ficou retido na peneira de 40 *mesh* seguiu

para a caracterização química, conforme as recomendações da TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI T 257 (TAPPI, 2014). Após esse processo, o material foi armazenado em sacos plásticos vedados e numerados para cada clone respectivamente. Para cada análise foram realizadas triplicatas.

3.7.2. Teor de extrativos

"Para a determinação dos extrativos da madeira, foram utilizados diferentes tipos de solventes: de caráter apolar e polar. Nesse sentido, o uso de cada solvente teve como função a solubilização para a quantificação de extrativos polares e apolares presentes na madeira de eucalipto.

3.7.2.1. Solvente de caráter Apolar

O solvente utilizado para determinar os extrativos de caráter apolar foi o Clorofórmio. Para a quantificação do teor de extrativos, foram utilizadas a norma TAPPI T 204 cm- 97 (TAPPI, 1997) e as recomendações de Silvério et al. (2006). Na extração, foi utilizado o equivalente a 1,00 g de amostra absolutamente seca de serragem. A extração foi realizada em aparelho tipo Soxhlet, durante o período de oito horas, em uma temperatura de 61°C. Ao final, os resíduos foram secos em estufa 103 \pm 2°C, até atingirem massa constante, e pesados para determinação da massa do material sem extrativos, com a realização de cálculo de sua porcentagem.

3.7.2.2 Solventes Polares

Os solventes polares utilizados foram água fria, água quente e etanol. Somado a isso, foram determinados os extrativos totais. No processo de extração com água fria, foram utilizados 2,00 g de amostra absolutamente seca (A.S) de serragem em um Becker com 400ml de água destilada. A serragem em água foi agitada, frequentemente, em um período de 48 horas.

Para a água quente, utilizou-se Erlenmeyer com 100ml de água destilada com amostra 2g de A.S de serragem, que permaneceu em banho-maria a 103 \pm 2°C por um período de três horas. Após esse tempo, em ambos os processos, o material foi filtrado em cadinho de vidro colocado em estufa calibrada a 103 \pm 2°C, até atingir massa constante, sendo, posteriormente, pesado para determinação da massa do material sem extrativos. Esse ensaio foi realizado de acordo com a norma TAPPI T 207 cm-17(TAPPI, 2008).

Para a extração com o etanol, utilizou-se o equivalente a 1,00g de amostra A.S de serragem e foi seguida norma padronizada pela TAPPI T 204 cm- 97 (1997), observando-se os mesmos procedimentos em Soxhlet para análise com clorofórmio.

Os teores de extrativos totais foram determinados de acordo com a norma TAPPI T 204 cm-17 (TAPPI, 2017). A extração foi realizada utilizando-se solução de tolueno/etanol, na proporção de 2:1 (V/V). A análise se deu com extrator de Soxhlet e balões de fundo chato, em bateria de extração, pelo período de oito horas. Após a extração em tolueno/etanol e secagem da amostra, a serragem foi submetida à extração em etanol a 95%, utilizando-se de extrator de soxhlet e bateria de extração pelo período de seis horas, posteriormente em água quente por mais três horas em banho-maria a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Para tal, foi utilizado 1g de serragem de amostra A.S após a extração e os cadinhos com o material sem extrativos foram colocados em estufa calibrada a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até atingirem a massa constante, sendo, posteriormente, pesado para determinação da massa do material sem extrativos.

3.7.3 Teor de lignina

Para determinar a quantidade do teor de lignina solúvel, seguiu-se a metodologia descrita por GOLDSCHIMID (1971), enquanto para lignina insolúvel, seguiu-se a norma (TAPPI T 222 cm-16) (TAPPI, 2015). A sequência das análises e processos para determinação da lignina seguiu as recomendações de Segura (2012), apresentadas no ANEXO 4 em que amostras de 0,3g de madeira livre de extrativos foram transferidas para frascos de Erlenmeyer de 250ml.

Em seguida, foram adicionados 3ml de solução de ácido sulfúrico a 72%. O material foi mantido em banho-maria a $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por uma hora, mantendo-se, frequentemente, a agitação com bastão de vidro. Após esse período, adicionou-se 84ml de água destilada quente, onde foram colocados em banho Maria por mais 3 horas até completa degradação. Os frascos Erlenmeyer foram devidamente tampados com papel alumínio e papel Kraft e deixados em descanso por 24h. O material foi filtrado, em cadinhos filtrantes revestidos com filtro de fibra de vidro, com 700ml de água destilada quente até a completa remoção do ácido. Os cadinhos foram mantidos em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h. Então, procederam-se aos cálculos da análise de lignina insolúvel em ácido. A lignina solúvel foi determinada em espectroscopia NIR e os cálculos foram determinados conforme o ANEXO 4.

3.7.4 Teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas, foram utilizados 2g de serragem de amostra absolutamente seca, que foram pesadas em cadinhos de porcelana. Primeiramente, foram pré-carbonizadas em chapa aquecedora regulada a 125°C, até liberação total de “fumaça” (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011). Após o procedimento, os cadinhos foram levados à mufla a 525°C por quatro horas seguindo as recomendações da TAPPI 211 cm-16 (TAPPI, 2016). Os cadinhos foram pesados e, posteriormente, calculado o teor de cinzas da madeira.

3.7.5 Teor de holocelulose

A determinação da holocelulose se deu pela diferença entre o correspondente a 100% da amostra e os resultados de extrativos totais e ligninas insolúvel e solúvel, de acordo com Sarto; Sansigolo (2010), como demonstra a equação 3:

$$\text{HOLO} = 100 - \text{LIG-T} - \text{EXTT} - \text{TC} \quad (3)$$

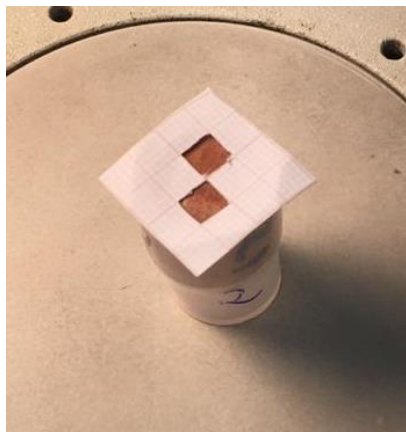
Onde:

Holo=Holocelulose; LIG-T=teor de lignina total; EXTT= extrativos totais;TC: Teor de cinzas.

3.8 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA

Para melhor compreensão das estruturas da madeira e sua influência no método da permeabilidade ao ar, foi realizada uma descrição macroscópica simplificada da porosidade dos três clones de *Eucalyptus*, adaptado da metodologia proposta pela série técnica número 15 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (1992). Para isso, foram utilizadas as mesmas amostras da determinação da permeabilidade ao ar, em que foram delimitadas duas áreas da seção de medição, no corpo de prova, de 25mm² (FIGURA 12).

FIGURA 8-METODOLOGIA PARA QUANTIFICAR POROS E POROS COM TILOSES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020)

Nessa área, foi determinada a quantidade de poros totais e poros obstruídos com tiloses. Utilizou-se lupa com aumento de 10 vezes para as observações. Posteriormente, foi calculada, em toda seção do corpo de prova, porcentagem do total de vasos e de vasos com tiloses, para quantificar e qualificar a sua influência da permeabilidade ao ar.

3.9 PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

3.9.1 Preparo do material

A permeabilidade da madeira foi determinada ao longo do fuste da árvore (base, meio e topo). De cada porção (360mm) do semibloco, foram retiradas cinco amostras, conforme metodologia adaptada de Silva (2010). Para obter os corpos de prova, foi utilizada broca serra copo, como mostra a Figura 13. Na sequência, eles foram redimensionados em 7 x 15mm (diâmetro e comprimento) para facilitar o encaixe na mangueira de silicone. Ressalva-se que não foi possível a retirada de amostras do alburno, somente da região do cerne. Posteriormente, as amostras foram aclimatadas a 12% de umidade de equilíbrio, até estabilização da massa.

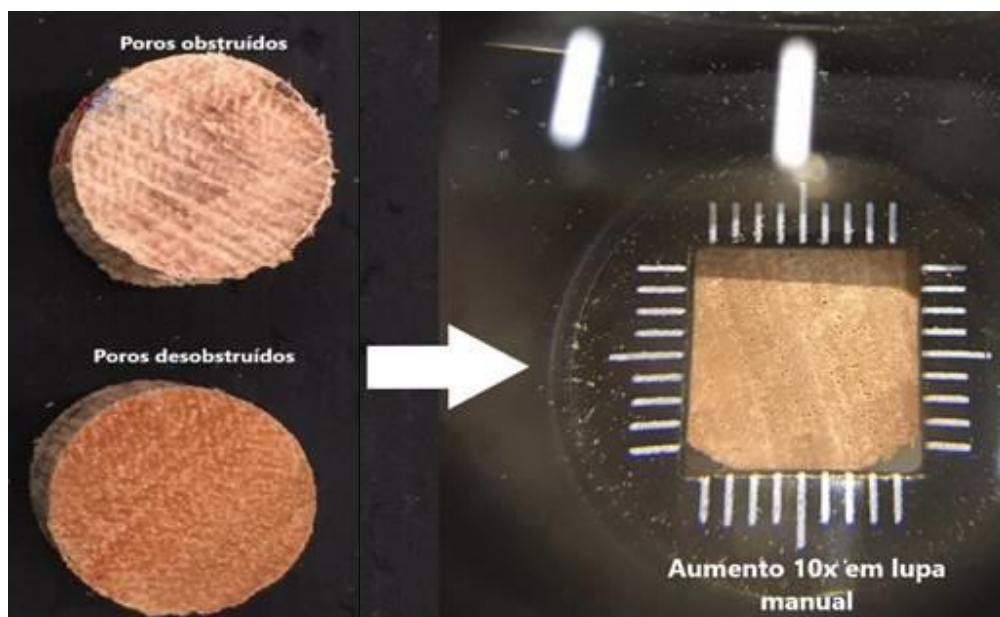
FIGURA 9-CORPOS DE PROVA PARA OBTENÇÃO DA PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020).

Para realização dos ensaios de permeabilidade da madeira ao ar, os corpos de prova passaram pelo processo de desobstrução dos poros. Um estilete e uma lupa de mão (aumento 10x) foram utilizados em cada amostra, que foi cuidadosamente trabalhada (desobstruída) para não impedir a passagem do ar no momento do ensaio (Figura 14). As amostras também foram impermeabilizadas com resina à base de silicone em suas laterais para maior vedação e colocadas em mangueira de silicone do mesmo diâmetro do corpo de prova, para maior fixação e impedir a ocorrência de vazamentos de ar. Para cada material genético, foram ensaiados 90 corpos de prova.

FIGURA 10-PROCESSO DE DESOBSTRUÇÃO DOS POROS DOS CORPOS DE PROVA PARA MENSURAR A PERMEABILIDADE AO AR

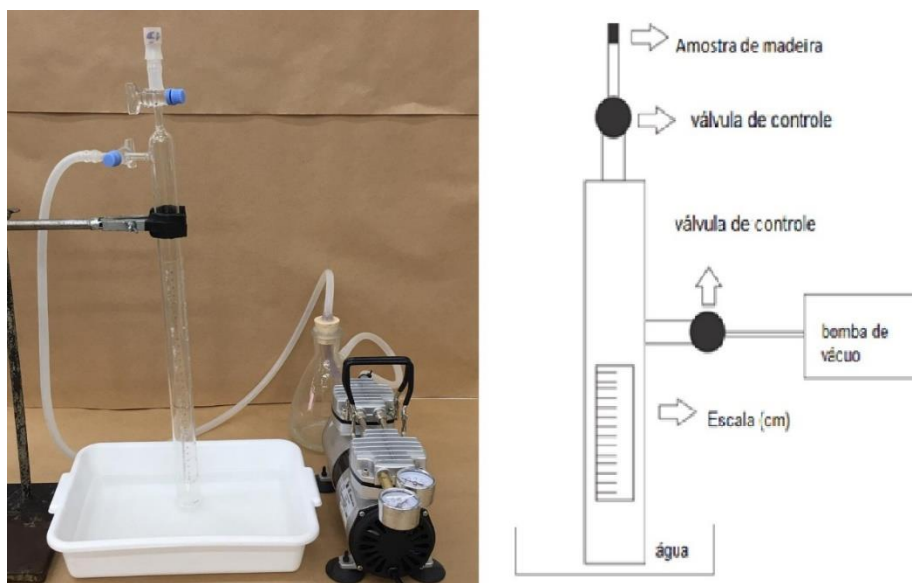


FONTE: O autor (2020).

3.9.2 Ensaio da permeabilidade ao ar

A permeabilidade da madeira ao ar atmosférico foi determinada pelo método do permeâmetro (*Falling-water Displacement Method- B*), consoante metodologia descrita por Siau (1971), conforme Figura 15. Mesma metodologia foi adaptada por vários autores (Silva et al., 2010; Baraúna et al., 2014; Rezende et al., 2017; Brito et al., 2019).

FIGURA 11-PERMEÂMETRO PARA MEDIR/ESTIMAR A PERMEABILIDADE AO AR, NO SENTIDO LONGITUDINAL, DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.



FONTE: O autor (2020)

O equipamento construído no Laboratório de Secagem da Madeira da UFPR é composto por duas válvulas de controle do vácuo, uma bomba de vácuo modelo NO: VAC30, potência vácuo 650mmHg, e entrada para a amostra de madeira. A parte inferior apresenta-se aberta para, quando da liberação do vácuo, a passagem de água subir através da escala, facilitando a leitura. Além disso, foi colocada uma armadilha no sistema de mangueiras, a fim de evitar que a água fosse para a bomba. Todas as mangueiras do sistema de conexão com as válvulas foram vedadas com silicone e graxa de silicone, para evitar possíveis vazamentos.

Para a realização do ensaio de permeabilidade da madeira, inicialmente, realizou-se a calibração do equipamento, a pressão da bomba de vácuo e os possíveis vazamentos. Para tanto, foram selecionadas amostras de *Pinus* spp e realizadas seis repetições, as quais foram submetidas às medições. Posteriormente, realizaram-se mais dois testes pilotos para madeira de eucalipto, com cinco amostras de cerne e cinco de alburno, com poros obstruídos e desobstruídos. Portanto, como foi um teste piloto, não será apresentado nos resultados.

A determinação da permeabilidade foi realizada somente para o sentido longitudinal, por meio da Equação 4, em que se considerou o tempo de deslocamento da água a uma determinada distância. Para cada amostra, efetuaram-se cinco verificações do deslocamento (tempo). Além disso, considerou-se a Equação 5 como fator de correção da variação de volume do ar devido à sua perda de carga ao atravessar a amostra.

$$k_g = \frac{152 * C * V * L * \left(P_a - \frac{h}{13,6}\right)}{t * A * \left(\frac{h}{13,6}\right) * \left(2 * P_a - \frac{h}{13,6}\right)} \quad (4)$$

$$C = 1 + \frac{V_r * \left(\frac{\Delta h}{13,6}\right)}{V * \left(P_a - \frac{h}{13,6}\right)} \quad (5)$$

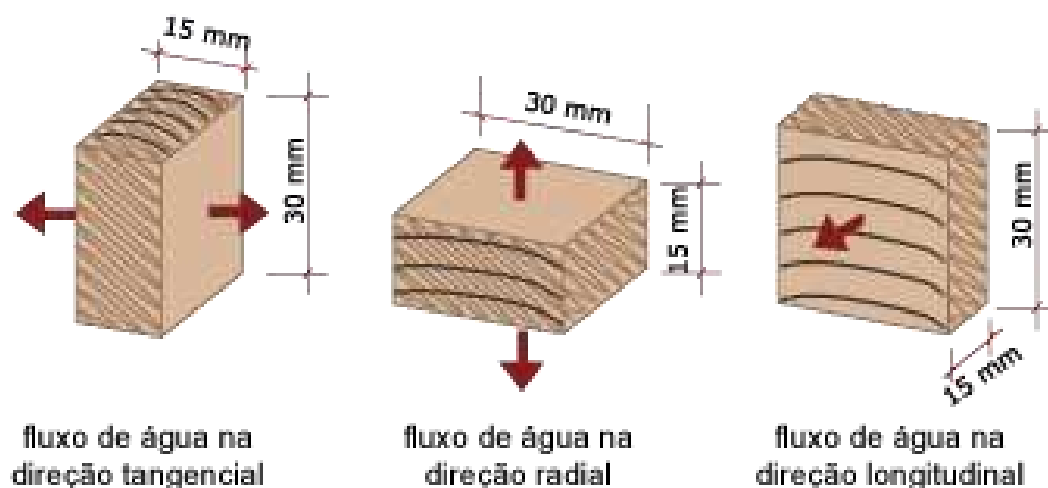
Onde: K_g : permeabilidade ao ar ($m^3 \cdot [M \cdot (N \cdot m^{-2}) \cdot s]^{-1}$); V : $\pi R^2 \Delta h$; L : comprimento da amostra (cm ou m); h : altura média coluna de água a partir da superfície do reservatório; t : tempo (s); A : área da seção transversal (cm^2); P_a : pressão atmosférica 76cmHg; C : Fator de correção; V_r : Volume total do sistema, incluindo o volume das mangueiras; Δh : mudança da altura da água, em cm durante a medição do tempo, $\Delta h = 1cm$.

3.10 FLUXO DE ÁGUA PELA TAXA DE SECAGEM PARA MADEIRA DE *Eucalyptus*

3.10.1 Preparo do material

Para medir o fluxo de água, utilizou-se o método amostral proposto por Monteiro et al. (2020). Os corpos de prova foram obtidos dos semiblocos dando origem a 144 amostras nos três sentidos ortotrópicos (radial, tangencial e longitudinal) e base-topo para cada clone. Os blocos foram confeccionados nas dimensões de 30 x 30 x 15mm (FIGURA 16). Os corpos de prova foram saturados e, depois, os cantos impermeabilizados com adesivo de alta aderência, deixando a face de interesse sem impermeabilizar; na sequência, foram pesados para obter a massa inicial.

FIGURA 12-ESQUEMA DOS CORPOS DE PROVA UTILIZADOS PARA DETERMINAR O FLUXO DE ÁGUA NAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



NOTA: Linhas curvas anéis de crescimento; setas: direção fluxo água; hachuras: faces impermeabilizadas.

FONTE: adaptado de Monteiro et al. (2020).

3.10.2. Fluxo de água pela taxa de secagem (secagem drástica)

O procedimento adotado para esta pesquisa foi baseado nas metodologias adaptadas de Ciniglio (1998); Jankowsky (2009); Andrade (2000); Barbosa et al. (2005), denominado de secagem drástica. Nesse processo, pequenas amostras de madeiras são submetidas à secagem em estufa, sem circulação forçada de ar e com temperatura igual a 100°C, apresentando comportamento proporcional ao que ocorreria na secagem convencional.

A perda de massa dos corpos de prova foi obtida em balança digital de precisão 0,01g, a cada 15 minutos, até a estabilização da massa. Após isso, os pequenos blocos foram secos em estufa, com circulação forçada de ar a 103°C ± 2°C, até massa constante, com variação inferior a 1%. Em seguida, foram determinadas as massas secas e gerados os gráficos e cálculo das taxas de secagem.

A referida taxa foi determinada para o fluxo de água livre, da água de impregnação e da água total para as três direções ortotrópicas dos blocos de madeira, conforme as equações 6, 7 e 8.

a) Taxa de secagem do fluxo de água livre

$$TXAL = \frac{Mi - MPSF}{T2 \cdot A} \quad (6)$$

Onde:

TXAL= Taxa de fluxo da água livre ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); Mi = massa inicial da madeira (g); MPSF= massa da madeira no ponto de saturação das fibras (g); T2= tempo de fluxo da água livre (horas); A= área exposta para saída da água na madeira (cm^2).

b) Taxa de fluxo da água de impregnação

$$TXAI = \frac{MPSF - Ms}{T3 \cdot A} \quad (7)$$

Onde:

TXAI= taxa do fluxo de água de impregnação ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); MPS= massa da madeira no ponto de saturação das fibras (g); Ms= massa seca da madeira (g); T3= tempo de fluxo da água impregnação (horas); A= área exposta para saída da água na madeira (cm^2).

c) Taxa de secagem fluxo de água total (livre e impregnação)

$$TXAT = \frac{Mi - Ms}{T1 \cdot A} \quad (8)$$

Onde:

TXAT: taxa do fluxo de água total ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); Mi: massa inicial da madeira (g); Ms: massa seca da madeira (g); T1: tempo de fluxo da água total (horas); A: área exposta para saída da água na madeira (cm^2).

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se delineamento inteiramente casualizado, a 5% de significância, em arranjo fatorial 3 x 3, sendo um dos fatores os três clones e o outro a posição (base, meio e topo) para cada variável analisada.

Os dados foram tabulados no *Microsoft Office Excel* e analisados no programa estatístico SAS, em que se verificou a sua normalidade, pelo teste de *Shapiro Wilk*, e a homogeneidade das variâncias, por meio do teste de *Bartellett*. Quando não atendidos esses pressupostos, os dados foram transformados para uma nova escala, utilizando-se logaritmo neperiano e raiz quadrada para atender aos critérios da análise paramétrica. Em seguida, os resultados foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, efetuou-se o teste de Tukey para comparação de médias a um nível de 5% de probabilidade de erro.

As correlações foram realizadas para cada variável química com delineamento experimental utilizado para a taxa de fluxo da água livre (TXAL), água impregnada (TXAI) e água total (TXAT). Também foram calculadas as correlações em cada direção ortotrópica e por clone.

Para permeabilidade ao ar, não foi possível proceder às correlações com as propriedades químicas, devido ao baixo número de dados decorrentes das análises. Inicialmente, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r) e a sua significância, com 95% de probabilidade no teste t de *Student*. Para as correlações significativas, apresentou-se um gráfico com o melhor ajuste para cada característica a fim de ilustrar a tendência do efeito sobre as taxas de fluxo da água, assim como seus coeficientes de determinação (r^2).

Posteriormente, as análises de regressão foram examinadas por meio do procedimento de seleção por passos ("*stepwise regression procedure*"), em que foram apresentados modelos significativos que explicassem as relações entre as propriedades químicas e as respectivas taxas de secagem em função das direções ortotrópicas e, também, dentro de cada clone, admitindo nível de significância de 5%. Os modelos apresentados foram lineares.

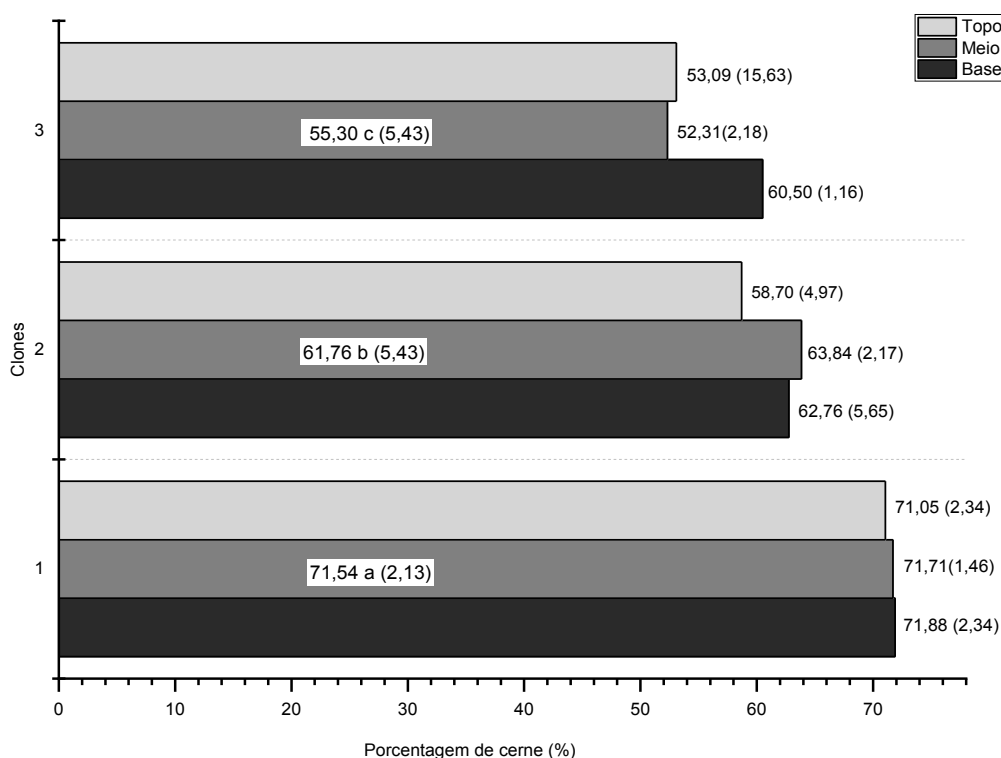
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PORCENTAGEM DE CERNE

No GRÁFICO 1, encontram-se os valores médios correspondentes à porcentagem de cerne para os três clones de *Eucalyptus* e seus respectivos coeficientes de variação. Observa-se que o clone 1 mostrou maior porcentagem de cerne, seguido do clone 2 e, posteriormente, do clone 3, com menor porcentagem – sendo que os três diferiram estatisticamente entre si.

Não houve interação entre clones e posição e nem no fator posição (ANEXO 1, TABELA 1). Nota-se, também, que os coeficientes de variação foram baixos, com valores inferiores a 10%, indicando boa precisão experimental e baixa variabilidade entre as árvores; o mesmo pode ser afirmado para as avaliações no sentido longitudinal das árvores.

GRÁFICO 1-VALORES MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE CERNE, PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*, NO SENTIDO LONGITUDINAL DAS ÁRVORES



FONTE: O autor (2020).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores dentro das barras hachuradas em branco correspondem às médias entre os clones e valores entre parênteses ao coeficiente de variação.

O que poderia explicar a menor porcentagem de cerne do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) é a diferença entre os materiais genéticos, pois tratam-se de espécies

diferentes (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; PEREIRA et al. 2013). Fatores bióticos e abióticos, como a microfauna do solo, umidade relativa do ar, temperatura, pluviosidade e PH promovem alterações no ambiente e, conseqüentemente, nas propriedades tecnológicas da madeira, assim como na sua formação (Benites et al. 2018), fato que também pode explicar as diferenças encontradas.

Em relação aos valores médios apresentados no GRÁFICO 1, observa-se que são semelhantes às médias encontradas por França et al. (2019) para híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (70,47%), bem como para o clone de *Eucalyptus grandis* (70,08%) aos 10 anos; são similares, também, aos resultados encontrados por Costa et al. (2017) para um clone de *Eucalyptus camaldulensis* (54%). Os valores verificados neste estudo são superiores aos obtidos por Alzate (2004) para clones de *Eucalyptus grandis* (44,55%), *Eucalyptus saligna* (32%) e um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (35,76%), aos 8 anos. Apesar das árvores terem a mesma idade, provavelmente, os resultados foram inferiores a esta pesquisa por serem espécies com procedências diferentes, além das condições edafoclimáticas e sítio.

O clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) apresentou porcentagem de cerne 22,70% maior que o clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) e 16,67% maior que o clone 2 (*E. saligna*), destacando-se o clone 1 com a maior porcentagem de cerne e o clone 3 com o menor valor médio. Nesse aspecto, o clone 3 chama a atenção por apresentar maior diâmetro e menor porcentagem de cerne, com diâmetro médio 30% maior que os clones 1 e 2. Provavelmente, a variabilidade genética do gênero *Eucalyptus*, além da fisiologia desse clone, implicou menor formação de cerne (FRANÇA, 2019).

O cerne é uma variável muito importante na secagem da madeira, principalmente por reduzir a permeabilidade devido às incrustações das células por substância fenólicas (BURGER; RICHTER 1992). Silva; Trugilho (2003) ressaltam que o processo de cernificação é caracterizado não só pela morte das células do parênquima radial, mas, também, pelo consumo de amido e pelo aumento no conteúdo de extrativos e tilos em determinados gêneros, como no eucalipto.

Considerando a porcentagem e o cerne para os três clones, os valores tornam-se vantajosos na perspectiva de aproveitamento da madeira sólida, uma vez que os produtos decorrentes do uso da madeira com maior porcentagem de cerne apresentam maior resistência natural, durabilidade e valor agregado. Por outro lado, no processo de secagem da madeira, uma alta porcentagem de cerne pode dificultar esse processo (já que reduz a permeabilidade), podendo, ainda, apresentar tiloses (Galvão; Jankowsky, 1985), que dificultam o fluxo de água na madeira em algumas espécies de eucalipto. Por isso, a secagem sempre deve ser conduzida de forma racional e criteriosa, com o objetivo de se

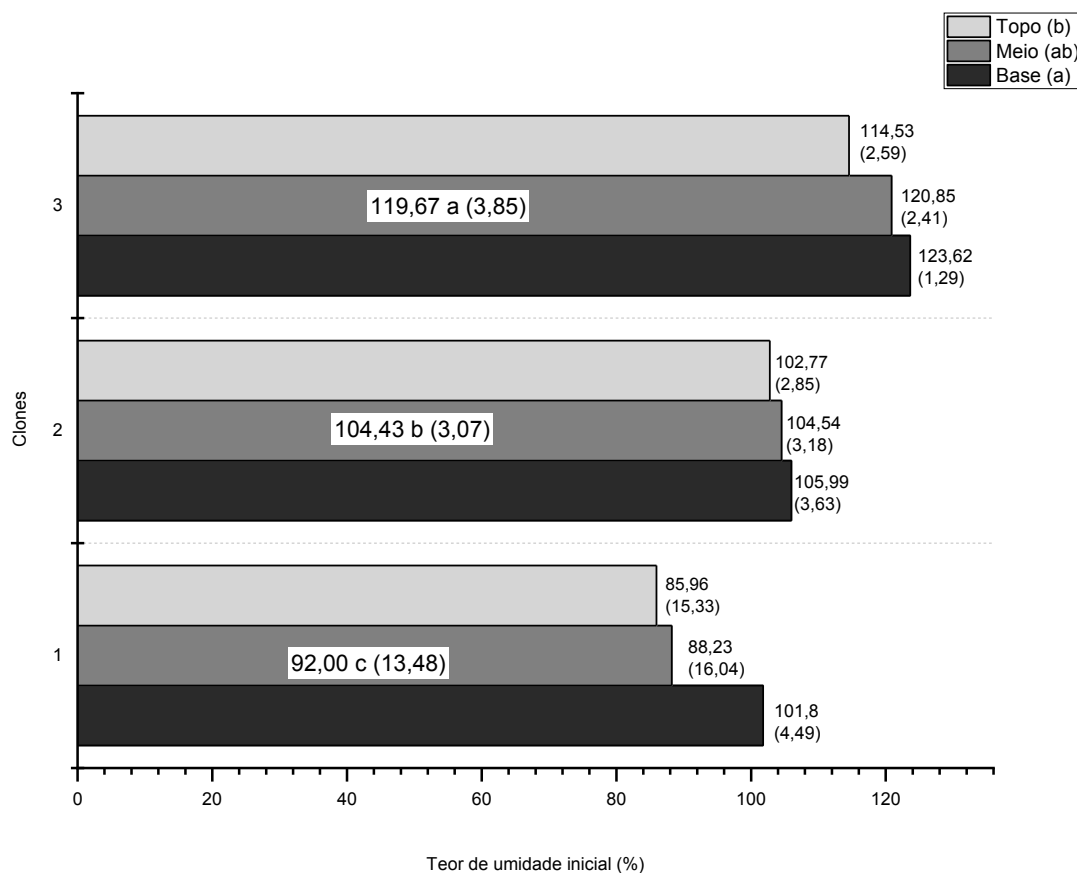
obter produtos com considerável padrão de qualidade e diminuir índices de defeitos característicos das espécies de eucalipto.

4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS

4.2.1 Teor de umidade inicial

No GRÁFICO 2, encontram-se os valores médios de teor de umidade inicial da madeira para os três clones, e seus respectivos coeficientes de variação, assim como o teste de médias. O resumo da análise de variância, que encontra-se TABELA 2 do ANEXO 1, demonstrou que não houve interação entre os fatores (clone e posição), mas tão somente para os fatores independentes. Lopes; Garcia (2002), ao avaliarem a umidade inicial da madeira de *E. saligna* aos 22 anos de idade, concluíram que não houve influência da posição vertical no teor de umidade inicial da madeira.

GRÁFICO 2- VALORES MÉDIOS DO TEOR DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA, PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*, NO SENTIDO LONGITUDINAL DAS ÁRVORES



FONTE: O autor (2020).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores dentro das barras hachuradas em branco correspondem às médias entre os clones e valores entre parênteses ao coeficiente de variação.

Para o fator espécie, como pode ser observado no GRÁFICO 2, os três clones diferiram estatisticamente entre si: a madeira do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresentou maior valor médio – 30,07% maior que o clone 1 e 14,59% maior em relação ao clone 2. Observa-se que esses resultados foram influenciados pela porcentagem de cerne (GRÁFICO 1), apresentando relação inversa com o teor de umidade inicial. Nesse sentido, o clone 3 chama atenção por apresentar porcentagem de cerne 22,70 % menor em relação ao clone 1 e maior teor de umidade. Segundo a literatura, os extrativos contidos no cerne (principalmente os fenólicos) ocupam espaços da umidade, apresentando, em geral, relação inversa com o teor de umidade inicial. Conforme Burger; Richeter (1991), esses compostos ocupam os espaços intercelulares e intracelulares, reduzindo a quantidade de água livre e de impregnação na madeira, o que pode explicar parcialmente as relações encontradas.

Os valores médios de teor de umidade inicial (de 92 a 119,67 %), conforme o GRÁFICO 2, são próximos aos encontrados na literatura para espécies similares, como Santos et al. (2004), que, para a madeira de *E. grandis* de oito anos de idade, verificaram valores entre 77,57 e 94, 54% de teor de umidade inicial. Por outro lado, Eleotério et al. (2015) encontraram valores superiores (109,0 %) a este trabalho para madeira de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 8 anos de idade. Já para madeira de *E. saligna*, Stangerlin et al. (2009) encontraram valores de teor de umidade inferiores (74,04%) a este estudo. Rezende (2009) obteve valores de teor de umidade inicial de 111% para madeira de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, aos oito anos, valores próximos a este trabalho. De tal modo, Engelund et al. (2013) afirmam que o teor de umidade inicial não é uma propriedade estática da madeira, pois varia entre árvores de uma mesma espécie, ao longo do tronco, entre estações climáticas e, possivelmente, com a hora do dia.

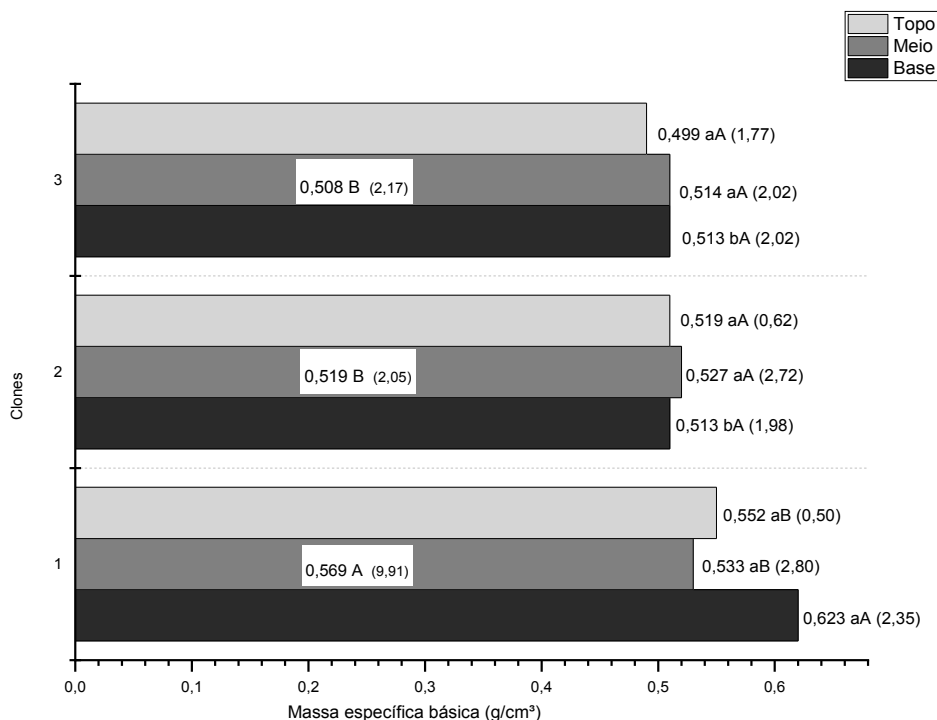
Para o fator posição (GRÁFICO 2), a base apresentou maior teor de umidade médio para os três clones e diferiu estatisticamente do topo e do meio. Tal variação ao longo do fuste pode ser explicada pela altura de retirada das toras das árvores, uma vez que, no presente estudo, as toras do topo correspondem até a altura comercial das árvores. Oliveira et al. (2005) complementam sobre a variação do teor de umidade ao longo da altura do tronco para a madeira do gênero *Eucalyptus*, destacando que a tendência é a base apresentar maior teor de umidade, diminuindo até a metade da altura, com novo acréscimo a partir do terço superior no topo e teor de umidade próximo ao da base da árvore. De acordo com Muniz (1993), o teor de umidade aumenta com a altura no tronco, permanecendo relativamente constante, contudo, a partir da metade (50%) da altura total. As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de umidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção

de menor variabilidade em torno do teor de umidade final médio pretendido (OLIVEIRA et al. 2005).

4.2.2 Massa específica básica

No GRÁFICO 3, encontram-se os valores médios de massa específica básica para os três clones de eucalipto e seus respectivos coeficientes de variação, assim como o teste de médias. O resumo da análise de variância se encontra na TABELA 3, ANEXO 1, onde a interação entre os fatores mostrou-se significativa, assim como para o fator clone.

GRÁFICO 3- VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*, NO SENTIDO LONGITUDINAL DAS ÁRVORES



FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores dentro das barras hachuradas em branco correspondem as médias entre os clones e valores entre parênteses ao coeficiente de variação. Valores fora das barras correspondem as interações clone e posição.

Como pode ser observado no GRÁFICO 3, os clones 2 (*E. saligna*) e 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresentaram valores médios de massa específica básica da madeira inferiores em relação ao clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*), sendo os três clones classificados, de acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2015), como madeiras de densidade média, conforme a TABELA 4, ANEXO 1.

Observa-se que o clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) apresentou maior valor médio de massa específica básica ($0,567 \text{ g/cm}^3$), sendo 8,77% e 10,52% maior que os clones 2 (*E. saligna*) e 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Os resultados mantiveram a tendência do teor de umidade inicial, em que foi encontrado o menor teor de umidade médio para o clone 1, sendo ainda o de maior densidade. Esses resultados podem estar relacionados às características anatômicas inerentes às espécies estudadas, combinadas às condições de crescimento da árvore, sobretudo às relacionadas às condições de sítio. De acordo com HIGGINS et al. (1973), as características anatômicas que exercem a principal influência na massa específica básica da madeira das folhosas são o diâmetro e a frequência de vasos, a relação entre diâmetro da fibra e espessura da parede celular e o conteúdo e distribuição dos extrativos.

Analisando estatisticamente os dados, observa-se (GRÁFICO 1) a inexistência de diferenças entre os clones 2 e 3, sendo que o clone 1 apresentou o maior valor médio. O que pode ter influenciado nas diferenças estatísticas da massa específica básica entre esses clones é a taxa de crescimento. Segundo estudos relatado por Susmel (1952), (1953) e (1954) com o *Eucalyptus camaldulensis*, a densidade da madeira é função inversa à taxa de crescimento; isso pode ser observado para o clone 3, em virtude do maior diâmetro das árvores (Tabela 3) – e, conseqüentemente, das toras – e da menor massa específica básica (Gráfico 3). Kollmann; Côté (1968) complementam que as variações da massa específica da madeira se devem às diferenças na estrutura anatômica e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, conforme sua idade, genótipo, clima, localização geográfica e tratamentos silviculturais.

É importante destacar que as espécies que compõem os clones 1 e 3 e o clone 2 (espécie pura) estão de acordo com a literatura. Andrade et al. (2009) encontraram valores de massa específica básica de $0,55 \text{ g/cm}^3$ para madeira de *E. urophylla*, $0,500 \text{ g/cm}^3$ para *E. grandis*, $0,60 \text{ g/cm}^3$ para *E. camaldulensis* e $0,520 \text{ g/cm}^3$ para *E. saligna*, aos 8 anos de idade. Nesse sentido, as variações encontradas entre os clones são normais, visto que a madeira dessas espécies é proveniente de cruzamentos genéticos. Gonzalez et al. (2014) encontraram para o *E. urophylla* x *E. grandis* valores próximos a este estudo, aos 7 anos de idade. Benites et al. (2018), ao avaliarem três clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, aos quatro anos, obtiveram valores de $0,50$ a $0,38 \text{ g/cm}^3$ para massa específica básica, sendo inferiores a este estudo. Apesar da diferença de idade entre os clones analisados pelo presente trabalho e pelos autores, fica evidente que a idade possui grande influência na massa específica da madeira, a qual tende a aumentar com o passar dos anos, conforme observado por Trugillho et al. (1996).

Ressalta-se que, apesar da madeira do *E. grandis* x *E. camaldulensis* e *E. saligna* (clone 2 e 3) apresentarem menores valores médios de massa específica básica, estes

estão de acordo com a literatura. Rocha (2011) encontrou valores médios de 0,507 g/cm³ para madeira de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos 7 anos. Trugilho et al. (1996) estudaram as características da madeira juvenil de *Eucalyptus saligna* e obtiveram densidades básicas de até 0,52 g/cm³. Pereira et al. (2000) estudaram plantios de *Eucalyptus saligna* e verificaram valores de densidade básica de 0,44 g/cm³, 0,53 g/cm³ e 0,55 g/cm³ para as idades de 9, 8 e 10,5 anos, respectivamente, semelhantes aos valores encontrados na presente pesquisa.

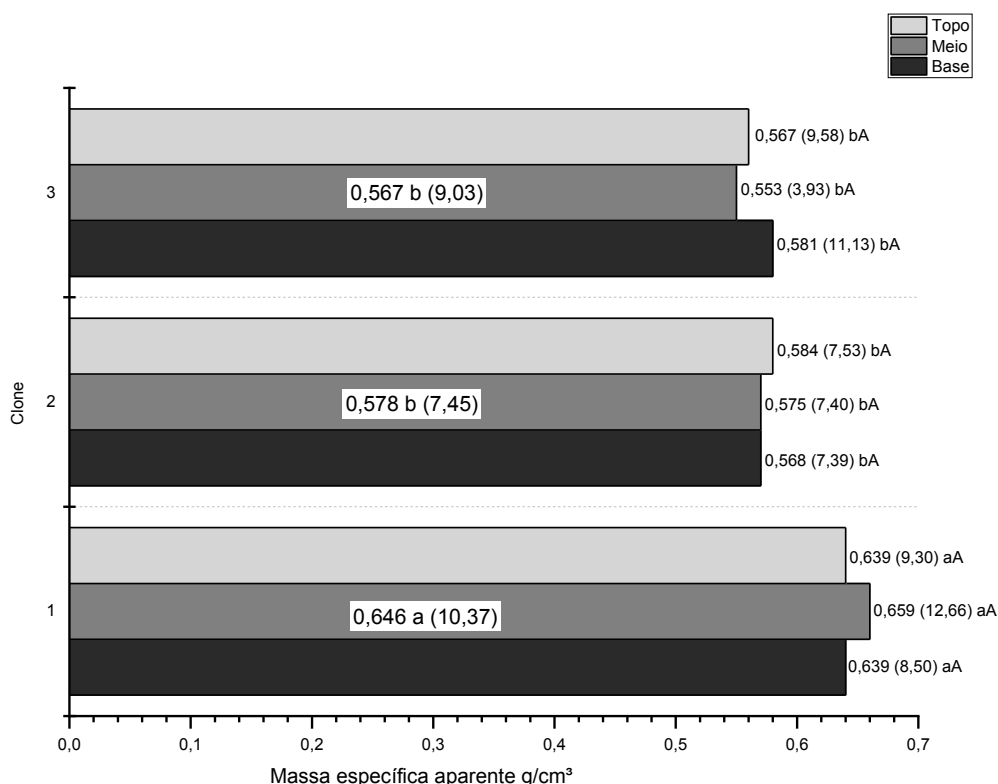
Ainda cabe destacar que o clone 1 apresentou maior valor médio de massa específica básica da madeira na base e que as demais posições (meio-topo) não diferiram estatisticamente, apresentando tendência de diminuição no meio e aumento no topo. Isso pode estar associado ao efeito do vento e ao peso da copa da árvore, já que na região de inserção dos galhos ocorrem alterações na estrutura anatômica da madeira, que resultam na elevação da massa específica básica. Müller (2018) também encontrou variação longitudinal da massa específica básica para três espécies de *Eucalyptus*, verificando valores crescentes de 0 até 75% da altura comercial, quando ocorreu a sua estabilização.

Ainda, é possível observar que as massas específicas básicas da madeira dos clones apresentaram relação inversa com a umidade inicial e relação direta com a porcentagem de cerne, indo ao encontro da literatura. Os resultados encontrados para a massa específica básica do lenho foram menos influenciados pela presença do cerne e do teor de umidade inicial. O clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) teve aumento de apenas 10,52% na densidade básica da madeira quando comparado com o clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Segundo Kollmann; Côté (1968), o cerne geralmente tem pouca influência na densidade básica da madeira. Essas observações podem ser explicadas em função de sua constituição anatômica, uma vez que madeiras com baixa densidade apresentam mais espaços vazios a serem preenchidos por água – como cavidades celulares e espaços intercelulares, incluindo vasos e canais resiníferos –, o que resulta em alta umidade (Zanuncio et al. 2013). Resultados semelhantes também foram observados por Oliveira; Silva (2005); Müller (2018), Zanuncio et al. (2013) para madeira de eucalipto.

4.2.3 Massa específica aparente

O GRÁFICO 4 apresenta os valores médios de massa específica aparente a 12% para os três clones de *Eucalyptus*, e seus respectivos coeficientes de variação, assim como o teste de médias. A análise de variância encontra-se na TABELA 4, no ANEXO 1.

GRÁFICO 4-VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores dentro das barras hachuradas em branco correspondem às médias entre os clones e valores entre parênteses ao coeficiente de variação.

O mesmo comportamento que ocorreu na massa específica básica da madeira (Gráfico 3) pode ser observado para a massa específica aparente (GRÁFICO 4). Foram encontradas diferenças estatísticas entre as médias do clone 1 e dos demais clones, sendo que o primeiro apresentou valor médio superior (0,646 g/cm³), assim como diferiu estatisticamente dos outros na interação posição e clone, evidenciando maiores valores médios no sentido longitudinal (base-topo). Segundo Gonzalez et al. (2014), a massa específica aparente da madeira no gênero *Eucalyptus* varia entre 0,40 e 1,20 g/cm³, classificando-se como leve, média e pesada.

Verifica-se que os valores médios da massa específica aparente do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) são próximos ao valor encontrado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) – que visa à utilização de espécies na construção civil – e similares aos relatados por França (2019), que verificou valores de 0,684 g/cm³ para madeira de *E. urophylla* e 0,615 g/cm³ para madeira de *E. grandis* e 0,572 g/cm³ para um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*. Segundo a classificação da NBR 7190, essa espécie se classificaria na classe C20, ou seja, de menor resistência para uso estrutural; porém, isso não tem o condão de inabilitar a utilização desse clone para uso em projetos estruturais. Além disso, a madeira do clone 1

pode ser indicada para utilização na fabricação de pisos de baixo trânsito, quando também levada em consideração sua massa específica básica (FRANÇA, 2019).

Os clones 2 e 3 apresentaram baixos valores de massa específica aparente da madeira quando comparados com a literatura e com a NBR 7190 (ABNT, 1997). Santos; Garcia (2019) obtiveram valores médios de massa específica aparente de 0,703 g/cm³ para *E. saligna* e 0,749 g/cm³ para madeira de *E. camaldulensis*. As diferenças observadas decorrem da possibilidade de terem sido analisadas árvores com lenho juvenil, da posição que foram retirados os corpos de prova (até altura comercial) e, até mesmo, da variabilidade genética existente no gênero.

Dessa forma, considerando que a massa específica tem grande influência nas demais propriedades físicas e, por consequência, interfere nos diferentes processos de conversão do material, e ao analisar os resultados obtidos para as espécies avaliadas – tanto para a massa específica básica (Gráfico 3) como para a massa específica aparente a 12% de umidade (Gráfico 4) –, verifica-se que estas apresentam grande potencial no que se refere a sua utilização como madeira sólida, e principalmente conhecer seu comportamento em condições ambientais, onde a umidade exerce grande influência na dessorção e adsorção da madeira.

Isso fica ainda mais evidente quando considerada a massa específica aparente de espécies que já são utilizadas pela indústria florestal, o que sugere que as espécies aqui estudadas podem ser empregadas nas mais diversas finalidades. Usos a serem considerados incluem a produção de móveis, acessórios de decoração e molduras, que se caracterizam como produtos de maior valor agregado. Todavia, Hillis; Brown (1978) destacam que, embora a massa específica forneça indicação da resistência e até mesmo dos usos da madeira, nem sempre essa relação é direta e devem ser considerados outras relações como ensaios mecânicos da madeira.

4.2. RETRATIBILIDADE DA MADEIRA

As contrações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica da madeira, além dos coeficientes de anisotropia de contração (A_c) dos três clones estudados, têm seus valores médios e respectivos coeficientes de variação apresentados na TABELA 5.

O resumo da análise de variância encontra-se na TABELA 5, no ANEXO 1, em que todos os fatores mostraram-se significativos para contração tangencial, longitudinal e coeficiente de anisotropia. Já para a contração radial e volumétrica, não houve interação entre os fatores, clone e posição.

TABELA 3-ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, LONGITUDINAL, VOLUMÉTRICA E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

β tg (%)				
Clone	Posição longitudinal na árvore			Médias
	Base	Meio	Topo	
1	10,28 aA (8,60)	9,68 bA (7,79)	9,49 bA (9,00)	9,82 (9,07)
2	10,26 aA (8,39)	9,15 bB(7,28)	8,49 cB(11,56)	9,30 (11,95)
3	8,57 aB(13,05)	6,95 bC(7,36)	7,04 bC (14,04)	7,52 (15,55)
Médias	9,7 (12,85)	8,59 (15,74)	8,34 (16,52)	
β rd (%)				
Clone	Posição longitudinal na árvore			Médias
	Base	Meio	Topo	
1	5,46 (11,10)	5,51 (13,95)	5,88 (13,85)	5,62 a (14,5)
2	4,73 (17,16)	5,25 (12,49)	5,25 (16,61)	5,08 b (16,05)
3	3,26 (29,96)	3,38 (25,82)	3,86 (28,20)	3,50 c (28,74)
Médias	4,48 b (27,26)	4,71 ab (25,88)	5,00 a (25,89)	
β lg(%)				
Clone	Posição longitudinal na árvore			Médias
	Base	Meio	Topo	
1	0,22 aB (22,60)	0,19 aB(33,47)	0,21 aB (28,94)	0,21 (28,93)
2	0,22 bB (30,98)	0,23 bB (29,13)	0,29 aA (28,31)	0,25 (31,69)
3	0,41 aA (27,85)	0,30 bA (26,56)	0,21 cB (58,23)	0,31 (44,00)
Médias	0,29 (42,46)	0,24 (34,43)	0,23 (41,88)	
β vol(%)				
Clone	Posição longitudinal na árvore			Médias
	Base	Meio	Topo	
1	15,96 (8,10)	15,38 (9,24)	15,58 (8,96)	15,64 a (8,92)
2	15,21 (9,96)	14,62 (8,61)	14,03 (10,76)	14,62 b (10,23)
3	12,24 (12,26)	10,62 (9,73)	11,1(17,63)	11,32 c (14,76)
Médias	14,47 a (14,89)	13,54 b (17,96)	13,57 b (18,30)	
A.C (%)				
Clone	Posição longitudinal na árvore			Médias
	Base	Meio	Topo	
1	1,90 aC (11,73)	1,78 abB (11,45)	1,65 bB (15,47)	1,78 (14,39)
2	2,21 aB (12,32)	1,76 bB (8,71)	1,65 bB (14,30)	1,87 (17,68)
3	2,78 aA (21,04)	2,14 bA (19,03)	1,89 cA (15,01)	2,27 (25,4)

Médias	2,29 (23,22)	1,89 (17,24)	1,72 (16,60)
--------	--------------	--------------	--------------

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade LEGENDA: β_t : Contração tangencial; β_r : Contração radial; β_l : Contração longitudinal; β_v : Contração volumétrica; A.C: Coeficiente de anisotropia de contração

Ao analisar a TABELA 5, para contração tangencial, quanto à interação entre os fatores (clone e posição), observa-se que as madeiras dos clones 1 e 2 foram iguais estatisticamente, apresentando os maiores valores médios na base. O mesmo ocorre para contração radial, em que a madeira do clone 1 apresentou o maior valor médio. Cabe observar (TABELA 5) que o clone 1 apresentou as maiores contrações tangenciais e radiais. Esse fato pode ser explicado em função da maior massa específica básica do clone 1, que possui relação direta com a contração da madeira. Oliveira et al. (2010) complementam que madeiras mais densas – por terem maior concentração de células com paredes mais espessas – tendem a adsorver mais água por unidade de volume e, conseqüentemente, contrair mais do que aquelas de menor densidade.

A madeira do clone 3, por sua vez, demonstrou os menores valores médios de contração tangencial e radial, assim como menor massa específica (Gráfico 3), o que justifica os valores encontrados. Kollmann; Cotê (1968); Poubel et al. (2011); Benin et al. (2017) relatam que a massa específica básica tem relação diretamente proporcional com a contração da madeira, fato que pode ser observado nesta pesquisa.

Ainda, pode-se destacar que o clone 1 exibiu maior valor médio de contração tangencial do lenho na base, não diferindo estatisticamente no sentido meio e topo. Isso também pode ser observado para o clone 3. O clone 2 demonstrou diferenças estatísticas entre as suas posições, evidenciando um sentido decrescente da contração no sentido axial das árvores. Lopes et al. (2011) não encontraram diferenças estatísticas na retratilidade tangencial para madeira de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* no sentido longitudinal da árvore; mesmo assim, os autores ainda observaram a mesma tendência encontrada no presente trabalho.

Quanto à contração longitudinal do lenho (TABELA 5), o clone 3 apresentou maior valor médio de contração em relação aos outros clones; ainda, cabe destacar que verificaram-se diferenças entre as suas posições ao longo do fuste, seguindo a tendência decrescente no sentido longitudinal da árvore e valor médio superior na base. O clone 1 não apresentou diferenças estatísticas entre suas posições, enquanto o clone 2 exibiu maior valor médio no topo. Vale salientar que os valores médios encontrados para contração longitudinal da madeira foram inferiores ao observado na literatura (TABELA 5), para todos os clones, e que, apesar de maior para o clone 3, a contração longitudinal é praticamente

insignificante, como relatam vários autores (KOLLMANN; COTÊ 1968; OLIVEIRA et al. 2010; LOURENÇON et al. 2013).

Para a maioria das espécies estudadas, verifica-se que os coeficientes de variação obtidos são maiores do que a média mencionada pelo FPL (1987), que sugere que os valores dos coeficientes de variação das contrações volumétricas e transversais se aproximam de 15%. Todavia, por se tratar do gênero *Eucalyptus*, os resultados averiguados neste estudo são considerados normais (OLIVEIRA et al. 2010).

Analisando a contração volumétrica do lenho (TABELA 5), o clone 1 apresentou maior valor médio geral (15,64%), seguido pelo clone 2 (14,62%) e pelo clone 3 (11,32%). Comportamento semelhante foi, também, observado para as contrações lineares nas direções tangencial e radial já discutidos anteriormente. Ainda, é possível observar que a densidade (GRÁFICO 3) também exerce influência direta na anisotropia, pois o clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) apresentou contração volumétrica 27,62% maior que o clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Kollmann; Côté Júnior (1968) afirmam que, quanto maior a densidade da madeira, maiores são a contração e o inchamento volumétricos.

Ademais, pode-se inferir na TABELA 5 que a contração volumétrica da madeira no fator posição revelou, na base, maior valor médio para todos os clones, diferindo estatisticamente dos demais. Esse comportamento pode ser explicado pelas diferenças observadas na maior densidade na base dos três clones (Gráfico 3). De acordo com Trugilho et al. (2002), a massa específica básica e a variação dimensional da madeira das espécies florestais apresentam forte relação, sendo que as de maior massa de madeira/volume apresentam maior variação dimensional.

Os resultados observados para as diferentes contrações na madeira dos três clones (TABELA 5), em comparação aos valores relatados pela literatura, se aproximam do que é observado para o gênero *Eucalyptus* (TABELA 6). Levando em consideração que os clones possuem madeira juvenil (8 anos), conforme metodologia adotada por Palermo et al. (2015), pode-se asseverar que os valores médios estão em conformidade com a literatura.

TABELA 4-VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, LONGITUDINAL, VOLUMÉTRICA E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE TRABALHOS ENCONTRADOS NA LITERATURA PARA ESPÉCIES DO GÊNERO *Eucalyptus*

Espécie	β tg (%)	β rd (%)	β long (%)	β vol. (%)	C.A	Idade	Autor
<i>E. saligna</i>	9,86	5,03	-	15,16	2,06	11	Batista et al. (2010)

<i>E. grandis</i>	9,25	4,60	-	14,10	2,05	11	
<i>E. grandis</i>	8,58	5,44	0,13	14,15	1,59	10	
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	8,20	4,67	0,12	13,19	1,69	10	França (2019)
<i>E. urophylla</i>	9,56	6,52	0,22	16,31	1,48	10	
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	9,1	4,5	-	13,4	-	17	Eleotério et al. (2015)
<i>E. urophylla x E. grandis</i>	6,91	5,33	0,65	11,92	1,32	5	SerenineJunior et al. (2019)
<i>E. camaldulensis</i>	6,91	4,70	0,77	12,38	1,55	4	Torres et al. (2016)
<i>E. saliga x E. saligna</i>	8,81	5,79	0,44	14,5	1,72	8	
<i>E. urophylla x E. grandis</i>	9,13	5,67	0,37	14,54	1,78	8	Freitas et al. (2016)

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: β_t : Contração tangencial; β_r : Contração radial; β_l : Contração longitudinal; β_v : Contração volumétrica; C.A: Coeficiente de anisotropia.

Quanto ao coeficiente de anisotropia de contração do lenho, (TABELA 5), nota-se que o clone 1 apontou menor valor médio, enquanto o clone 3 indicou o maior valor médio (2,78). Esses resultados podem indicar uma madeira muito instável e propensa a defeitos. Isso pode ser explicado em função da contração radial do lenho do clone 3 ser menor em relação aos outros clones, o que o diferencia estatisticamente dos demais; por sua vez, a contração tangencial foi semelhante aos outros clones, como já apresentado nos resultados anteriormente. Uma baixa variação no eixo radial pode ser atribuída aos raios da madeira, presentes na sua estrutura anatômica, o que é característico das espécies do gênero *Eucalyptus*, conforme Tomazello Filho (1987).

Sobre os valores médios obtidos para os coeficientes de anisotropia de contração da madeira para o *E. urophylla x E. grandis* (clone 1) e *E. saligna* (clone 2), infere-se que esses são próximos aos encontrados na literatura. Já para o *E. grandis x E. camaldulensis* (clone 3), os valores são levemente superiores aos encontrados para espécies similares do gênero *Eucalyptus* (TABELA 6).

No entanto, deve-se ressaltar que o fator de anisotropia, tomado de forma isolada, não caracteriza a madeira do ponto de vista da estabilidade dimensional (Chies 2005; Bonduelle et al. 2015) e, portanto, não pode ser adotado como o principal critério de determinação dessa característica para a madeira das espécies aqui avaliadas. Isso pode ser observado para madeira do *E. grandis x E. camaldulensis* (clone 3) que, apesar de apresentar menores variações dimensionais, à exceção da contração longitudinal, demonstrou maior fator anisotrópico. O mesmo foi observado por Bonduelle et al. (2015) para madeira de *Tectona grandis* que, a despeito de um fator anisotrópico de 2,27, ao

mesmo tempo exibiu contração volumétrica de 9,8%, sendo indicada para utilização de produtos sólidos e com boa estabilidade dimensional.

Por outro lado, tem-se o exemplo da madeira de *E. urophylla* que, ao ser estudada por Lopes et al. (2011), apresentou fator de anisotropia 1,56 e contração volumétrica média de 20,67%, evidenciando baixa estabilidade dimensional, o que pode acarretar defeitos de secagem, como rachaduras.

Ao analisar a Tabela 5, é possível observar que a madeira do clone 1 apresentou alta contração tangencial, principalmente nas toras da base (10,28%) e meio (9,68%). Nesse sentido, trata-se de madeira levemente acima que pode, naturalmente, ser utilizada; todavia, requer cuidados na estabilização, principalmente porque pode apresentar defeitos de secagem como empenamentos.

A redução da instabilidade dimensional da madeira pode ser alcançada pela aplicação de ceras, vernizes, lacas e tintas na umidade de utilização ou de equilíbrio local, dificultando a absorção de umidade (OLIVEIRA, 1998). Considera-se, também, a realização de programas corretos de secagem e seleção de peças com corte radial, que proporcionam madeira mais estável e com baixo índice de defeitos, principalmente quando se deseja a fabricação de móveis. Nesse cenário, ainda que a madeira do clone 1 tenha apresentando maiores contrações – tanto volumétrica, como tangencial –, torna-se viável sua utilização. Ainda na tabela 5, destaca-se a madeira do clone 3, que, apesar de apresentar coeficiente de anisotropia de contração de 2,27, torna-se interessante a sua utilização para uma grande diversidade de produtos, principalmente de maior valor agregado, como molduras, móveis etc. Além disso esse clone apresentou uma baixa contração volumétrica o que implica que o fluxo de água e nessa espécie pode ser mais lento principalmente para água de impregnação.

4.5. PROPRIEDADES QUÍMICAS

4.5.1 Extrativos da madeira

As análises de variância (TABELA 6, ANEXO 1) indicaram que houve efeito significativo para os fatores posição e espécie, bem como com relação à interação entre esses fatores, para todos os solventes utilizados. Tais resultados indicam que as espécies apresentaram diferenças significativas entre os teores de extrativos, de acordo com a posição na madeira, em função do solvente utilizado. As interações foram desdobradas e analisadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e estão apresentadas na TABELA 7.

TABELA 5-PORCENTAGEM MÉDIA DE EXTRATIVOS NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus* EM DIFERENTES SOLVENTES.

Extrativos em Etanol (%)				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	1,07bC (14,08)	0,85cC (16,01)	1,95aC (12,66)	1,21
2	1,66bB (23,47)	1,73bB (14,39)	2,62aB (14,55)	1,96
3	4,60aA (16,61)	2,72bA (22,49)	3,12bA (11,86)	3,39
Médias	2,02	1,58	2,52	
Extrativos em Clorofórmio (%)				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	1,23bA (11,69)	1,86aA (9,20)	1,05bA (16,13)	1,26
2	0,74aB (16,86)	0,76aB (15,28)	0,88aA (16,66)	0,79
3	1,26aA (21,59)	0,99aB (18,87)	0,46bB (22,02)	0,83
Médias	0,98	1,12	0,75	
Solubilidade em água quente (%)				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	2,61 aA (16,09)	3,02 aA (11,83)	2,72 aA (43,21)	2,78
2	2,04 aB (41,76)	1,52 aB (29,55)	1,69 aB (14,06)	1,75
3	3,12 aA (28,47)	1,82 bB (28,39)	2,4 aA (15,50)	2,45
Médias	2,59	2,12	2,27	
Solubilidade em água fria (%)				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	2,35 bA (39,61)	2,94 aA (13,58)	3,22 aA (24,4)	2,84
2	0,89 bB (34,25)	2,11 aB (50,29)	1,13 bC (35,3)	1,38
3	2,44 aA (55,27)	1,93 aB (48,09)	2,32 aB (10,43)	2,23
Médias	1,89	2,32	2,22	
Extrativos totais (%)				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	3,39 aB (22,33)	3,51 aA (12,83)	3,72 aA (27,63)	3,54
2	2,2 aC (42,91)	1,16 bC (30,82)	1,75 abC (14,59)	1,7

3	4,32 aA (12,48)	2,39 cB (15,96)	3,0 baB (11,91)	3,24
Médias	3,3	2,25	2,82	

FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Pode-se observar na TABELA 7 que, para os extrativos da madeira solúveis em etanol, o clone 1 exibiu diferenças estatísticas entre as suas posições, sendo o maior valor médio encontrado no topo (1,65%), assim como o clone 2, que também apresentou maior valor médio no topo (2,62%). Os valores encontrados são próximos aos relatados por Ribeiro (2016) para híbridos de *E.urophylla* x *E.camaldulensis* x *E.grandis* (2,48%) e para um híbrido de *E. urophylla* (2,09%). O baixo valor de extrativos em etanol encontrado para os clones 1 e 2 pode ser justificado pelo fato de que, quando se utilizam solventes altamente polares como o etanol, estes removem alguns compostos na madeira, que incluem ácidos resinosos, gorduras, ácidos graxos, esteroides e terpenos (Sarto; Sansigolo, 2010) e podem apresentar uma maior quantidade ou menor variando com cada espécie, o que explica os resultados encontrados para esses clones.

Dentro do fator clone, o *E grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3) demonstrou maior valor na base, sendo que meio e topo não diferiram estatisticamente; já na interação entre os fatores (clone e posição), a base proporcionou maior quantidade de extrativos em etanol. Esses resultados podem ser explicados pela maior quantidade de substâncias, extraíveis pelo etanol (Sjöström; Alén, 1998), principalmente na base, onde a madeira apresentou maior quantidade de cerne (GRÁFICO 1).

No fator posição (base-topo), pode-se verificar (TABELA 7) que todos os clones diferiram estatisticamente entre si, destacando-se o clone 3, com os maiores valores médios na base, seguido da madeira do clone 2 e do 1. Isso pode ser explicado em função da porcentagem de cerne (GRÁFICO 1), uma vez que, na base, a madeira desse clone apresentou os maiores valores médios e, conseqüentemente, maior quantidade de substâncias removíveis em etanol.

Apesar dos relatos na literatura, nenhum estudo sistemático foi efetuado para avaliar qual solvente é mais adequado para a determinação do teor total de extrativos e do teor de extrativos de caráter polar e apolar em madeiras de eucalipto (Silvério et al. (2006). Por isso, os estudos com diferentes solventes, como o etanol detêm grande importância, tendo em vista a necessidade de se obter baixas porcentagens de extrativos, principalmente na sua relação com a movimentação de água na madeira.

Para os extrativos do lenho solúveis em clorofórmio, infere-se que, no fator clone (TABELA 7), o clone 1 exibiu maior valor médio no meio, ao passo que base e topo foram

iguais estatisticamente. Já o clone 2 não demonstrou diferenças estatísticas em suas posições. Para o clone 3, o maior valor médio foi verificado na base, diferindo estatisticamente do topo. De maneira geral, os resultados encontrados para extração em clorofórmio são similares aos relatados por Silvério et al. (2006), que encontraram valores médios de 0,51 a 0,73 % para cinco clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, 0,70 % para *E. urophylla* e 0,56% para *E. camaldulensis*. O fato de o clorofórmio ser um solvente de caráter apolar torna-o seletivo, removendo uma pequena quantidade de substâncias desse caráter, o que explica os baixos valores encontrados para a extração da madeira em clorofórmio. Silvério et al. (2006) complementam que o clorofórmio apresenta melhores resultados do que a acetona na obtenção de extrativos lipofílicos na madeira de eucalipto.

O clone 2 apresentou a menor porcentagem de extrativos no lenho solúveis em clorofórmio (TABELA 7) no que tange à interação da posição com os outros clones, com maior valor médio no topo, diferindo estatisticamente do clone 3. Esse fato está relacionado às mudanças provocadas pelo processo de cernificação da madeira, no qual os extrativos, principalmente os polifenólicos, são lançados no cerne (Trugilho et al. 1996), o que pode explicar as variações no sentido base-topo verificadas nesta pesquisa.

Na solubilidade em água quente, pode-se observar (TABELA 7) que os clones 1 e 2 não apresentaram diferenças estatísticas entre as suas posições. O clone 3, por sua vez, demonstrou maior valor médio na base, influenciado pela posição, sendo que a base denotou a maior quantidade de extrativos em água quente. Segundo Oliveira (2005), os extrativos solúveis em água quente incluem sais inorgânicos, açúcares, polissacarídeos de baixa massa molecular, cicloses, ciclitóis e algumas substâncias fenólicas como o tanino, além do amido, visto que a água, como solvente polar, remove somente substâncias polares, o que explica os resultados encontrados para a solubilidade em água quente.

Valores similares a esta pesquisa são relatados na literatura. Caixeta et al. (2003) encontraram teores de solubilidade em água quente de diversos genótipos de *Eucalyptus* spp. (13 a 17 anos), da ordem de 2,68% até 7,62%, e Marron; Neves (2000) verificaram valor de 3,29% em *E. grandis*, com sete anos. Guilmo et al. (1993), entretanto, encontraram valores próximos ao do presente estudo, ao reportarem que a madeira de *Eucalyptus saligna* apresentou 1,82% de solubilidade em água quente.

Na base e no topo, o clone 2 diferiu estatisticamente dos demais clones, apresentando menor valor médio de solubilidade em água quente (2,04%), enquanto no meio exibiu menor valor médio, sendo igual, estatisticamente, ao clone 3 (TABELA 7). Ferreira et al. (2015), avaliando o teor de extrativo em água quente na madeira de *Tectona grandis* (teca) observaram aumento no sentido base-topo, com valores médios de 9,56% na parte basal, 9,65% na parte mediana e 9,76% no topo.

Relativamente à quantidade de substâncias extraíveis da madeira dos clones (TABELA 7), a água fria extraiu maior quantidade de substâncias na base para o clone 3; por sua vez, o clone 1 denotou os maiores valores de solubilidade no meio e no topo. Segundo Oliveira et al. (2005), a água fria extrai componentes como taninos, açúcares e corantes. Comparando-se os dois métodos de extração, a água quente solubiliza mais extrativos do que a água fria, pois a temperatura é um catalisador de reação química e, portanto, aumenta a eficiência de extração em termos de quantidade. Qualitativamente, os compostos químicos extraídos nos dois métodos são os mesmos, o que muda é a quantidade (Ferreira et al., 2015).

Na interação entre os fatores, pode-se observar na TABELA 7 que o topo do clone 1 se destacou, contribuindo significativamente com o aumento no teor de extrativos em água fria. Isso pode estar relacionado à maior concentração de carboidratos de baixo peso molecular nas partes mais altas do tronco. Além disso, o topo das árvores do presente estudo corresponde à altura comercial. Essa mesma tendência foi observada por Silva et al. (2005); Arantes et al. (2011), os quais também encontraram maior variação no topo para madeira de eucalipto.

Para os extrativos totais presentes na madeira (TABELA 7), o clone 1 não mostrou diferenças estatísticas entre as suas posições. O clone 2, por sua vez, destaca-se com a menor porcentagem de extrativos totais nas suas posições, sendo seu maior valor médio encontrado na base. Já no que se refere ao clone 3, o maior valor médio foi verificado na base, diferindo estatisticamente do meio. As variações encontradas entre os clones são características das espécies estudadas, uma vez que os valores averiguados estão dentro da faixa relatada por vários autores (Ferreira et al. 2006; Gomide et al. 2005; Tolfo et al. 2005; São Teago, 2012), os quais constataram percentuais entre 1,09 e 4,28 % para clones jovens de *E. urophylla* x *E. grandis*.

Gomide et al. (2010) encontraram variação no teor de extrativos totais de 1,24 a 7,29 % para o gênero *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade, enquanto Benites et al. (2018) também obtiveram variação de 1,07 a 3,02 % nos extrativos totais da madeira de um híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos 7 anos de idade, valores próximos aos encontrados no presente estudo. A quantidade e a qualidade dos extrativos são variáveis de espécie para espécie. Tais alterações nos teores dessas substâncias são evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie, variando do cerne mais interno para o recém-formado, sendo mais efetivo neste último, assim como no alburno (OLIVEIRA, 2005).

Cabe destacar (TABELA 7) que, no fator posição, a base do clone 3 demonstrou maior valor médio de extrativos totais, diferindo estatisticamente dos demais. Já no meio e no topo, o clone 1 apresentou os maiores valores médios, diferindo dos demais. Em todas as posições, o clone 2 exibiu menor porcentagem de extrativos totais. Pode-se dizer que a

tendência encontrada denota que a base extraiu maior quantidade de extrativos totais, diminuindo no meio e voltando a subir no topo.

Arantes et al. (2011), avaliando o teor de extrativos em clones de eucalipto no sentido longitudinal e radial do tronco, concluiu que o conteúdo total de extrativos tende a diminuir até a porção de altura de 30% e, depois, aumentar na porção de altura de 70% do tronco. De acordo com o autor, esse aumento, provavelmente, está relacionado a maiores quantidades de açúcar nas partes mais altas do tronco, que são mais próximas da região do meristema apical. Silva et al. (2005) também encontraram variação no sentido base-topo para o teor de extrativos totais na madeira de *Eucalyptus grandis*, seguindo a tendência de acréscimo no topo.

Da análise da interação entre os fatores, pode-se inferir (Tabela 7) que, para madeira do *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3), a base contribuiu significativamente com o aumento do teor de extrativos, apresentando-se como o maior valor médio. A maior quantidade de extrativos totais se deve à sua maior porcentagem de cerne, que, por sua vez, pode ter apresentado maior quantidade de substâncias extraíveis nos solventes. As diferenças dos valores encontrados na presente pesquisa e os da literatura se devem às distinções das espécies do gênero *Eucalyptus*, à variação da madeira ao longo do fuste, à idade, aos tipos de lenho, às condições de crescimento e à interação dos fatores genéticos com os ambientais (LEPAGE, 1986; OLIVEIRA et al, 2005; SILVA et al. 2005; TRUGILHO et al., 1996). Trugilho et al. (2005) relatam que, dentro de uma mesma espécie, ocorrem variações significativas na altura do tronco e na direção da medula até a casca. Ademais, há diferenças entre o cerne e o alburno, entre madeira de início e fim de estação de crescimento e, ainda, entre células individuais (TRUGILHO et al., 1996).

Da análise geral da TABELA 7, nota-se que o método dos extrativos totais foi o que apresentou a maior solubilidade média, seguido de água quente, água fria, etanol e clorofórmio. Isso está relacionado ao uso de uma combinação de diferentes solventes nessa técnica – mistura de tolueno-etanol (2:1), etanol e água quente –, o que implica remoção de maior quantidade de substâncias, situação devidamente comprovada neste estudo. O conteúdo do material extraível da madeira compreende desde compostos menos polares, como ceras, gorduras, resinas, fitoesteróides, e hidrocarbonetos não voláteis, até compostos mais polares, como carboidratos de baixo peso molecular, sais e outras substâncias solúveis em água (COSTA et al. 1997).

Importante, ainda, destacar que o clone 2 (*Eucalyptus saligna*) demonstrou menores valores médios de extrativos do lenho solúveis em todos os solventes analisados. Do ponto de vista da secagem da madeira, baixos valores de extrativos são interessantes, pois facilitam o fluxo de água e aumentam a permeabilidade da madeira. Milota et al. (1995) afirmam que madeiras com elevado teor de extrativos são menos permeáveis do que

madeiras com menor quantidade desses componentes, uma vez que obstruem o caminho do fluxo. Dentro da classe dos extrativos, existem componentes higroscópicos que, por apresentarem afinidade com a água, alteram a dinâmica do fluxo e podem dificultar a passagem do fluido (WANGAARD; GRANADOS, 1967). De acordo com Klock et al. (2005); Kedrov (2012); Pereira et al. (2000), alguns extrativos que se localizam nas células do parênquima dos raios conectados aos vasos podem dificultar a passagem de fluidos pela madeira.

Somado a isso, o baixo teor de extrativos pode melhorar a adesão de adesivos no processo de colagem de laminas (ALBINO et al. (2012). No caso de painéis de madeira reconstituída, como Aglomerados/MDP e *Oriented Strand Board* (OSB), o teor de extrativos é a propriedade química mais importante, pois sua elevada concentração e migração, que ocorre durante o processo de secagem, podem bloquear o contato do adesivo com a madeira (Bufalino et al.,2012), mesmo a colagem de painéis não sendo foco deste trabalho é importante relatar essas considerações uma vez que as laminas também passam pelo processo de secagem, ou seja, apresentam relações estreitas com a movimentação de água e extrativos.

4.5.2 TEOR DE LIGNINA

A análise de variância para os teores de lignina da madeira solúvel, insolúvel e total, encontra-se na TABELA 7, ANEXO 1, e mostra que não houve interação significativa entre os clones e posições, evidenciando que a posição ao longo do fuste não influenciou no teor de lignina, sendo significativos apenas para os fatores independentes. O desdobramento desses fatores pode ser encontrado na TABELA 8, assim como os seus respectivos coeficientes de variação.

TABELA 6-TEORES DE LIGNINA INSOLÚVEL, SOLÚVEL E LIGNINA TOTAL PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.

Lignina insolúvel (%)				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	27,68	26,04	26,46	26,73 B(8,87)
2	25,06	22,89	24,92	24,29 C(7,35)
3	30,30	26,48	27,60	28,12 A(9,83)
Médias	27,67A (10,8)	25,14B(10,3)	26,32AB(8,00)	
Lignina solúvel (%)				
Posição longitudinal do fuste				

	Base	Meio	Topo	Médias
Clone				
1	2,87	2,64	3,10	2,87AB(20,6)
2	2,76	2,35	2,89	2,67B(16,42)
3	2,90	3,12	3,17	3,06 A(13,68)
Médias	2,84AB(10,58)	2,71B (16,46)	3,06A (21,17)	
Lignina Total (%)				
Posição longitudinal do fuste				
	Base	Meio	Topo	Médias
Clone				
1	30,54	28,69	29,57	29,60 B(8,67)
2	27,83	25,24	27,81	26,96 C(7,43)
3	33,20	29,59	30,77	31,19 A(8,85)
Médias	30,53A (10,2)	27,84B(10,07)	29,38A (7,95)	

FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Da análise da Tabela 8, pode se afirmar que todos os clones diferiram estatisticamente entre si, sendo o maior valor médio encontrado para madeira do clone 3, seguido do 1 e do 2. As diferenças encontradas entre as espécies estudadas, em função das características intrínsecas de cada espécie e por se tratar de madeira juvenil, vão ao encontro da literatura. Zobel; Van Buijtenen (1989) afirmam que a madeira juvenil apresenta maior teor de lignina quando comparada à madeira adulta. Os valores encontrados para os teores de lignina insolúvel do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) são superiores aos reportados por Benites et al. (2018), aos quatro anos de idade, e próximos ao relatado por Santos et al. (2011) para o híbrido, aos sete anos, cultivado em clima semiárido (34%).

Para madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) os valores verificados são similares aos reportados por Zanuncio et al. (2013), aos cinco anos de idade, para ao mesmo clone (27,5%). Trugilho et al. (1996) encontraram teores de lignina insolúvel de 24,32 %, aos três anos, e 24,48%, aos quatro anos, para madeira de *E. saligna*. Por outro lado, Guarienti et al. (2000) encontraram resultados similares a este estudo para o clone de *E. saligna*, aos sete anos de idade (25,81%).

Para a lignina total (TABELA 8), o maior valor médio foi representado pelo lenho do clone 3, seguido dos clones 1 e 2. Os quantitativos encontrados no presente estudo vão ao encontro da literatura e são próximos aos relatados por Zanuncio et al. (2013), para os clones *urophylla* x *E. grandis*. Santos et al. (2011) também encontraram valores próximos de lignina total para *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos sete anos (31%). Trugilho et al. (2001)

obtiveram valores de 30,53% para *E. saligna*, aos sete anos de idade, quando comparados a este estudo, para a mesma espécie. Conforme argumentado anteriormente, os resultados dos teores de lignina total e solúvel baseiam-se na composição, idade, tipo de lenho e outras características de cada material estudado (OLIVEIRA et al. 2005; TRUGILHO et al. 1996)

Os resultados encontrados para lignina solúvel do lenho (TABELA 8) denotam a inexistência de diferenças estatísticas entre os clones 1 e 3, com evidência de maior valor médio, novamente, para madeira do clone 3. Resultados semelhantes foram aferidos por Zanuncio et al. (2013) para clones de *Eucalyptus*. O teor de lignina solúvel – aquela que não condensa durante a hidrólise ácida pelo método de Klason – foi semelhante entre tratamentos, e o teor da lignina total seguiu tendência semelhante da insolúvel para os três clones.

Verifica-se, também, que em relação ao fator posição, a base evidenciou maior valor médio de lignina insolúvel, solúvel (TABELA 8) e lignina total, sendo o topo e a base iguais estatisticamente. Essas variações encontradas são atribuídas às diferenças, entre os materiais genéticos, de proporção retirada das amostras do topo – sendo o topo a altura comercial – e, principalmente, ao fato de ser madeira juvenil (PALERMO et al. 2015). Ao se comparar a madeira juvenil com a madeira adulta, Bendtsen (1978); Senft et al. (1985) afirmaram que os ângulos microfibrilares da camada S2, o diâmetro do lúmen e o conteúdo de lignina são maiores na madeira juvenil. Tais resultados convergem com os de Silva et al. (2005) e Arantes et al. (2011), que, ao analisarem a influência da posição axial na composição química das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontraram maiores valores de lignina na base.

Haselein et al. (2004) observaram comportamento similar a este estudo. Os autores encontraram maiores valores médios na base e, depois, uma tendência de a porcentagem de cerne diminuir no topo. Conforme Arantes et al. (2011), existe tendência crescente no conteúdo de lignina até a porção de 10% de altura, seguida por redução e estabilização a 30% e a 70%, porções de altura do tronco comercial.

A quantidade de lignina é um parâmetro importante para os diversos usos da madeira. No que diz respeito à secagem, altos teores podem reduzir a afinidade desta com a água, uma vez que a lignina, em termos de proporção, é o componente mais hidrofóbico da madeira (PETTERSEN, 1984).

4.5.3 TEOR DE HOLOCELULOSE E CINZAS

A análise de variância para o teor de holocelulose na madeira encontra-se NA TABELA 7, ANEXO 1 e mostra que não houve interação expressiva entre os clones e

posições, os valores foram significativos somente para os fatores independentes. O desdobramento dos fatores da holocelulose pode ser encontrado na TABELA 9.

TABELA 7-TEOR DE HOLOCELULOSE PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

Holocelulose %				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	65,95	67,67	66,58	66,73B (3,97)
2	69,85	73,50	70,34	71,23A (3,38)
3	62,37	67,85	66,10	65,44 B (4,93)
Médias	66,06C (5,79)	69,68A (4,82)	67,67B (4,26)	

FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Conforme pode ser observado na TABELA 9, o clone 2 (*E. saligna*) apresentou maior teor de holocelulose na madeira, diferindo estatisticamente dos demais clones, que foram iguais entre si. Os resultados encontrados são próximos ao relatados por Trugilho et al. (1996), ao avaliarem a madeira de *E. saligna*, aos quatro anos, de plantios localizados em Minas Gerais (72,47% no teor de holocelulose). Apesar de serem próximos, como relata a literatura, os valores encontrados nesta pesquisa para o *E. saligna* (clone 2) podem ser considerados característicos da madeira de eucalipto, uma vez que a origem do material é destinada à produção de celulose. Nesse sentido, uma menor quantidade de holocelulose implica em uma menor quantidade de água a ser removida, como observado na madeira dos clones 1 e 3 pois compreende a soma dos teores de celulose e hemiceluloses da madeira; assim, menor quantidade de parede celular e carboidratos poderão facilitar o fluxo de água nessas espécies.

Os resultados encontrados estão de acordo com os relatados por Santos et al. (2011), que encontraram valores de 65% de holocelulose para clones de *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos sete anos de idade. Benites et al. (2018) encontraram variação de holocelulose de 69,72% a 71,93%, aos quatro anos, avaliando o efeito da fertirrigação nas propriedades tecnológicas da madeira de *E. grandis* x *camaldulensis*.

Quanto ao fator posição, para os três clones estudados, o maior valor médio foi encontrado no meio, seguido do topo e, posteriormente, na base do fuste. Esses resultados estão de acordo com Silva et al. (2005), que encontraram valores de 73,11% no discos retirados em toras do meio para madeira de *E. grandis*, aos 14 anos. Apesar das diferenças encontradas nas posições, os resultados aferidos ao longo do fuste são normais, visto que as espécies dos clones são diferentes.

Para o teor de cinzas, houve efeito significativo para o fator espécie e para a interação entre os fatores espécie e posição, mostrando que o fator posição interfere na porcentagem de cinzas na madeira (TABELA 7, ANEXO 1). O desdobramento dos fatores da holocelulose, e seus respectivos coeficientes de variação, podem ser encontrados na TABELA 10.

TABELA 8-TEOR DE CINZAS PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

Teor de Cinzas%				
Posição longitudinal do fuste				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,12 aA (34,78)	0,13 aA (48,5)	0,13 aA (24,3)	0,13
2	0,12aA (8,53)	0,10aB (17,96)	0,9 aB (25,8)	0,10
3	0,10bA (15,09)	0,16aA (23,61)	0,13 aA (13,88)	0,13
Médias	0,11	0,13	0,12	

FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Conforme a TABELA 10, dentro do fator clone, a madeira do *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3) apresentou o maior valor médio do teor de cinzas no meio, que diferiu estatisticamente da base; os demais clones não apresentaram diferenças estatísticas entre as suas posições. Ainda, pode-se destacar que, na interação dos fatores, a posição do meio proporcionou aumento do teor de cinzas do clone 3. Os valores verificados para o clone 3 foram inferiores aos observados por Benites et al. (2018) para *E. grandis* x *E. camaldulensis*, aos quatro anos, os quais obtiveram teor de cinzas de 0,74%, e por Costa et al. (2017), que encontraram 0,31% para madeira de *E. camaldulensis*. As diferenças encontradas podem ser atribuídas às variações entre as espécies, sítio, disponibilidade de nutrientes e quantidade de substâncias minerais presentes em cada clone.

No fator posição, ao longo do fuste, pode-se observar (TABELA 10) que o teor de cinzas para a base foi igual estatisticamente entre os clones. No meio e no topo, os maiores valores médios foram representados pela madeira dos clones 1 e 3 – iguais estaticamente entre eles – diferindo do clone 2, que apresentou os menores valores médios no teor de cinzas. Com relação ao clone 2, este apresentou o menor teor de cinzas: 23% inferior aos clones 1 e 3. Os valores encontrados neste trabalho são próximos aos relatados por Rocha (2011), que afirma que a quantidade de materiais de natureza inorgânica na madeira de *Eucalyptus* raramente ultrapassa 1,0%.

De madeira geral, os baixos teores de cinzas encontrados vão ao encontro da literatura. Botrel et al. (2010), ao analisarem oito clones de eucalipto, encontraram teores

entre 0,11 e 0,25%, valores próximos a este estudo. Para o setor energético, valores de cinzas abaixo de 1% são considerados ideais (Santos et al., 2011). Baraúna (2010) avaliando a madeira de Amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke) e Faveira (*Parkia gigantocarpa* Ducke); Yilgor et al. (2001) consideraram que a redução no teor de hemiceluloses e o acréscimo no teor de componentes minerais podem favorecer o fluxo de água na madeira.

4.6 PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

O resumo da análise de variância da permeabilidade longitudinal ao ar da madeira dos três clones de *Eucalyptus* encontra-se na TABELA 8, no ANEXO 1, segundo o qual todos os fatores se mostraram significativos para posição e espécie e para a interação entre esses fatores. Esses resultados evidenciam que a posição ao longo do fuste influenciou na permeabilidade ao ar na madeira dos três clones de *Eucalyptus*. O desdobramento desses fatores é apresentado na TABELA 11.

TABELA 9-VALORES MÉDIOS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO AR NO SENTIDO BASE-TOPO PARA MADEIRA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.

Permeabilidade ao ar ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-1}.\text{atm}^{-1}.\text{s}^{-1}$)				
Posição longitudinal do fuste				
Clones	Base	Meio	Topo	Médias
1	6,80 Bb (84,95)	10,36 abA (85,68)	15,16 aA (57,4)	10,77
2	6,19bB (85,60)	8,40 bB (126,87)	11,77aA (55,92)	8,78
3	17,37 aA (45,57)	13,71 aA (55,37)	14,09 aA (88,85)	15,05
Médias	10,12	10,82	13,67	

FONTE: O autor (2020)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese correspondem aos coeficientes de variação.

Observa-se na TABELA 11 que para a madeira dos clone 1 o meio e o topo são iguais estatisticamente, e para o clone 2 a base e o topo são iguais estatisticamente. Para o clone 3, a posição no tronco da árvore não influenciou na permeabilidade ao ar no lenho, sendo igual estatisticamente em suas posições. As diferenças de permeabilidade entre os materiais genéticos se devem à grande complexidade e heterogeneidade da madeira, principalmente pela distribuição e número dos elementos condutores, notadamente os vasos, que influenciam significativamente na permeabilidade líquida e ao ar (SIAU, 1984).

Os valores encontrados para permeabilidade ao ar para madeiras dos clones deste estudo são superiores aos relatados por Teixeira (2015) para a madeira de cerne de

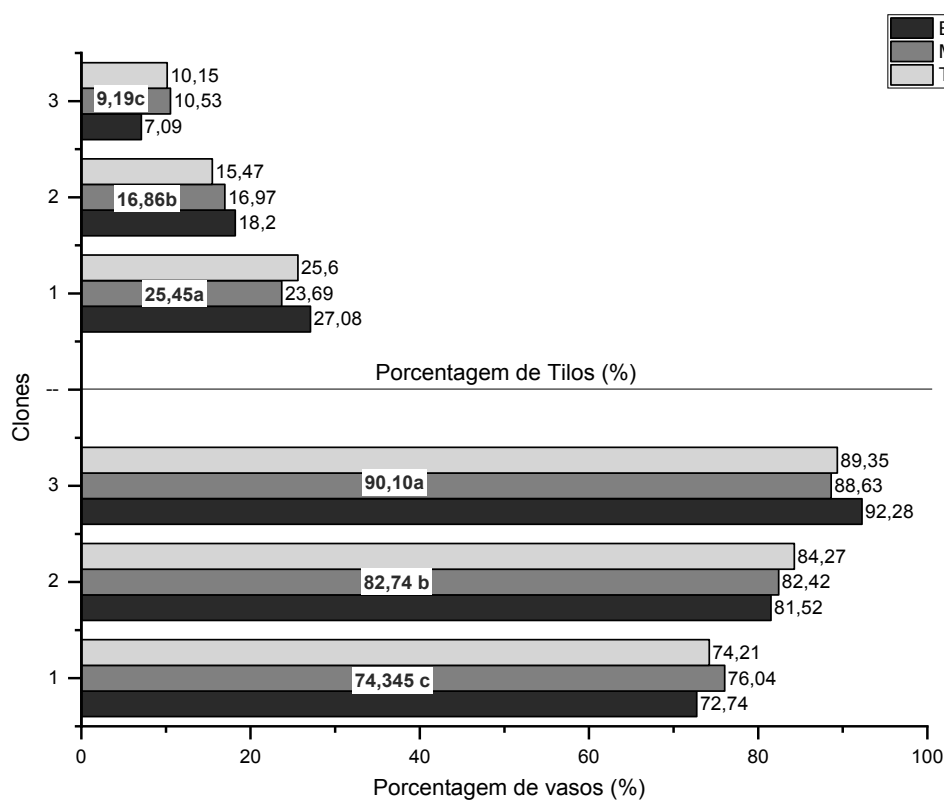
híbridos de E. Urophylla x E. grandis, aos nove anos. O autor encontrou variação de 5,98 a 5,04 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-1}.\text{atm}^{-1}.\text{s}^{-1}$ em diferentes classes de diâmetro. Brito et al. (2019) encontraram valores de permeabilidade com variação de 0 a 3,9 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-1}.\text{atm}^{-1}.\text{s}^{-1}$ para o cerne de *E. grandis* e *E. grandis x E. urophylla*, aos quatro anos. A baixa permeabilidade da madeira do cerne também foi observada na madeira de *E. urophylla*, aos cinco anos, por Oliveira (2015). Silva et al. (2010) relataram valores médios superiores, como 25 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-1}.\text{atm}^{-1}.\text{s}^{-1}$ para o lenho do cerne de *E. grandis* e, para madeira de *Corymbia citriodora*, a permeabilidade foi nula, não mensurável. Independentemente da idade avaliada, o lenho do cerne apresenta baixa permeabilidade, o que também pode ser observado no presente estudo, pois a madeira utilizada foi da região do cerne, e este é influenciado pela composição química e anatômica de cada espécie.

Os valores médios observados neste trabalho diferiram dos autores citados em função das características intrínsecas das espécies estudadas, como teor de extrativos, massa específica básica e constituintes anatômicos. Pokki et al. (2010) observaram que a permeabilidade da madeira é de grande variabilidade entre as espécies. Rezende et al. (2018) complementam que, a depender do tipo de fluido que se move através da madeira, a permeabilidade também apresenta diferentes magnitudes (valores). Siau (1984) afirma que existe grande variação para na permeabilidade da madeira, devido à divergência da estrutura da madeira, à quantidade e à distribuição de elementos condutores, bem como à presença de obstruções e sua intensidade na madeira.

Da análise da interação entre os fatores (TABELA 11), salienta-se que a base proporcionou aumento da permeabilidade longitudinal para madeira do clone 3 (*E. grandis x E. camaldulensis*), demonstrando maior valor médio em relação aos outros clones. Esses resultados podem ser explicados pela análise do GRÁFICO 5, que apresenta a porcentagem de vasos e tiloses na madeira, os quais se mostram significativos para cada clone e não significativos para o fator posição e interação (TABELA 9, ANEXO1).

Como pode se observar no GRÁFICO 5, a porcentagem de tiloses diferiu estatisticamente entre os clones, evidenciando que o clone 3 apresentou menor valor médio de tiloses (9,19%), o que pode explicar a maior permeabilidade da espécie e, consequentemente, maior porcentagem de vasos (90,10%).

GRÁFICO 5-PORCENTAGEM DE VASOS E TILOSES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020).

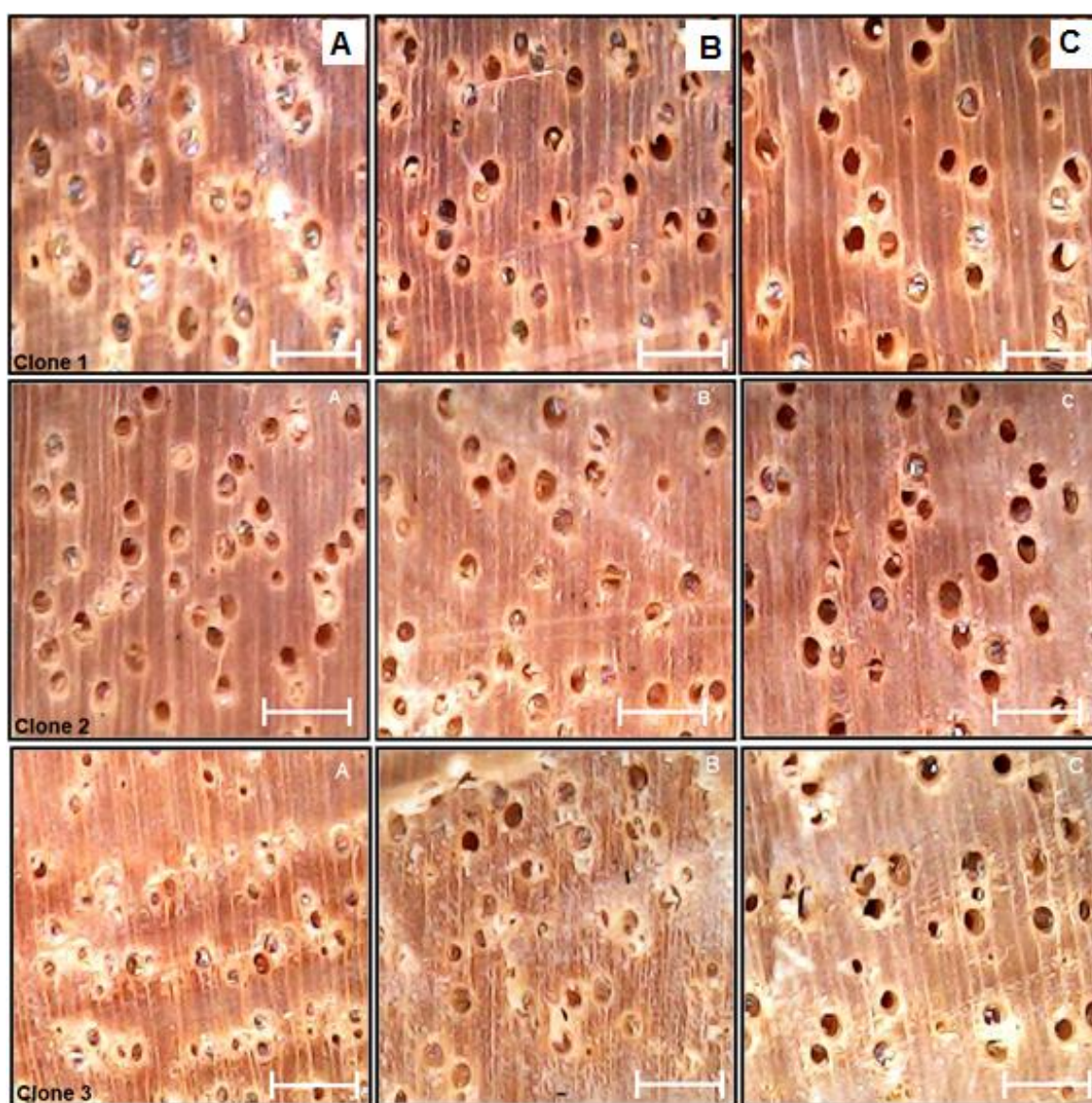
NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Já uma maior quantidade de vasos obstruídos por tilos (25,45%) foi averiguada para o *E. urophylla* x *E. grandis*, clone 1 (GRÁFICO 5) que, consequentemente, apresentou menor permeabilidade ao ar. A baixa permeabilidade deste clone pode ser explicada pelos maiores valores médios de extrativos totais encontrados nos resultados anteriores (TABELA 7). Milota et al. (1995); Silva (2007) relataram que o teor de extrativos indica que, possivelmente, haverá uma barreira à passagem de fluidos, principalmente no cerne. Taghiyari et al. (2010) complementam que existe relação entre a diminuição da permeabilidade e o aumento do teor de extrativos. Além disso, a madeira do clone 1 também apresentou maior porcentagem de cerne nos resultados anteriores (GRÁFICO 1), o que também pode explicar os resultados encontrados, e relacionar com a quantidade de extrativos totais, que podem ter obstruído a passagem de ar nos vasos da madeira dessa espécie, além disso apresentou maior massa específica básica (GRÁFICO 3), podem ter influenciado a menor permeabilidade desse clone.

Baraúna et al. (2014) afirmam que o número total de vasos por mm² e seu diâmetro são extremamente importantes, uma vez que essas características influenciam a permeabilidade da madeira. Ahmed; Chun (2011) corroboram que, para madeira de

eucalipto, quanto menor o diâmetro do vaso, maior a frequência de vasos/mm² na madeira. Apesar do diâmetro dos vasos não ter sido mensurado neste trabalho, observou-se visualmente essa relação, conforme FIGURA 17, notadamente para o *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3,) que apresentou maior permeabilidade. O mesmo foi relatado por Rezende et al. (2018), ao avaliarem a influência dos vasos na permeabilidade da madeira de *E. grandis* e *E. dunni*. É importante lembrar que, embora a permeabilidade e a porosidade sejam interconectadas, os poros devem ser desobstruídos e conectados um ao outro para que a madeira seja permeável (SIAU, 1984).

FIGURA 13-POROSIDADE DA MADEIRA E TILOSES NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE Eucalyptus, NO SENTIDO BASE-TOPO



FONTE: O autor (2020).

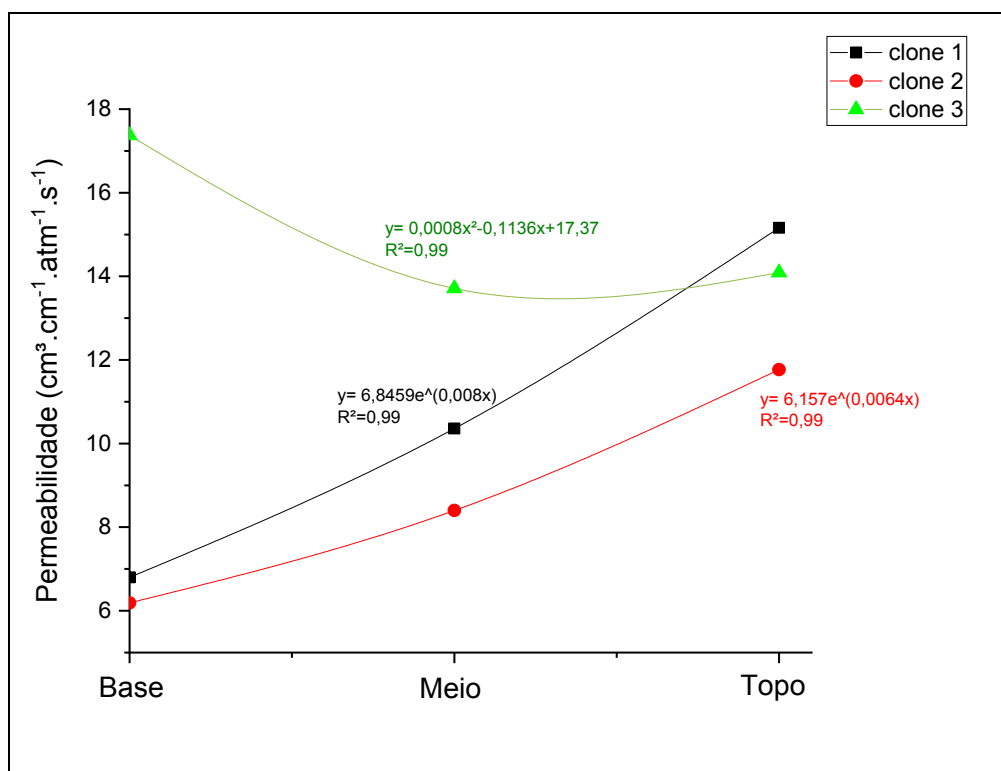
NOTA: Clone 1= *E. urophylla* x *E. grandis*; Clone 2: *E. saligna*; Clone 3= *E. grandis* x *camaldulensis*.
A= base; B=meio; C=Topo; Barra de escala: 500 µm

Quanto ao fator posição (TABELA 11), com relação às amostras da base do fuste, a madeira do clone 3 mostrou a maior permeabilidade, diferindo estatisticamente dos clones 1 e 2, que foram iguais entre si. Para as amostras do meio do fuste, a madeira dos clones 1 e 3 foram iguais estatisticamente, denotando os maiores valores médios de permeabilidade dessa posição. No que tange às amostras removidas do topo do fuste, os três clones foram iguais estatisticamente, sendo mais permeáveis nessa posição.

A maior permeabilidade encontrada na região do topo das espécies pode ser explicada pela menor quantidade de tilos presente nos vasos (TABELA 11), bem como pela presença de madeira juvenil das espécies. Urbinati et al. (2003) sugerem que variações encontradas no sentido longitudinal podem ser interpretadas como reflexo das diferentes idades do câmbio ao longo da altura do tronco. Por se tratar de madeira mais jovem, apresenta, no topo, fibras mais curtas, lúmens maiores, paredes celulares mais finas Gatto et al. (2012), pode explicar os resultados do presente estudo no que atine à maior permeabilidade no topo da madeira para os materiais genéticos analisados.

O comportamento da permeabilidade no sentido longitudinal do fuste pode ser observado pela análise da GRÁFICO 6, que apresenta as curvas de permeabilidade para madeira de cada clone de eucalipto.

GRÁFICO 6-REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA PERMEABILIDADE AO AR NO SENTIDO BASE-TOPO PARA A MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020).

Da análise do GRÁFICO 6, infere-se que a curva para o comportamento da permeabilidade ao ar encontrada para o lenho dos clones 1 e 2 é caracterizada como exponencial, evidenciando que a permeabilidade ao ar, para essas espécies, tende a ser crescente no sentido base-topo. Já no que se refere ao clone 3, o comportamento da permeabilidade ao ar é caracterizado por uma curva polinomial, decrescendo até o meio e voltando a subir no topo.

Importante registrar que, a despeito de a permeabilidade da madeira possuir extrema importância no processo de secagem, é possível analisar ainda que a maior permeabilidade ao ar da madeira do clone 3 em relação aos demais clones, além dos resultados já inferidos, também é importante relatar que esse clone apresentou menor porcentagem de cerne (GRÁFICO 1) e menor massa específica básica (GRÁFICO 3), onde possivelmente os extrativos possuem relação com essas propriedades da madeira, e podem estar localizados em maior quantidade na parede celular no que nos lúmens das células, além de células de raio, ou seja, sendo em menores quantidade nos lúmens, fazendo com que a permeabilidade ao ar dessa espécie fosse maior.

Nesse contexto, é necessário destacar, também, que ainda não há uma norma específica para determinar a permeabilidade, mas, sim, diferentes metodologias aplicadas a materiais porosos, isso fica evidente quando observado os coeficiente de variação, que para essa metodologia de análise de permeabilidade ao ar foram relativamente altos para madeira dos três clones, e podem ser explicados em função do tamanho da amostra, da espécie, das tiloses, número de vasos por mm², de vasos obstruídos por serragem, tilos e principalmente pelo número amostral.

4.7. TAXA DE SECAGEM NOS DIFERENTES EIXOS ORTOTRÓPICOS

4.7.1 TEOR DE UMIDADE INICIAL, TEMPO E CURVAS DE SECAGEM

A TABELA 12 apresenta os resultados referentes ao teor de umidade inicial e aos tempos de fluxo de água livre, impregnação e total nas direções ortotrópicas da madeira dos três clones de *Eucalyptus*. A tabela fornece informações gerais da secagem drástica, uma vez que as curvas de secagem, para cada espécie e direção ortotrópica, serão apresentadas detalhadamente nos tópicos subsequentes. Cabe ressaltar que as curvas de secagem foram estimadas através de equações de regressão.

TABELA 10-TEOR DE UMIDADE INICIAL E TEMPO DE SECAGEM PARA CADA TIPO DE ÁGUA NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES *Eucalyptus*

Clone	DFA	TUI (%)	TAL (h)	TAI (h)	TT (h)
-------	-----	---------	---------	---------	--------

1	Longitudinal	98,49	2,65	5,19	7,85
	Radial	130,57	5,27	7,48	12,75
	Tangencial	98,32	4,74	7,97	12,71
2	Longitudinal	108,4	3,9	5,1	9,0
	Radial	109,35	3,95	8,10	12,02
	Tangencial	97,30	4,05	7,53	11,57
3	Longitudinal	95,10	3,05	5,53	8,58
	Radial	88,41	3,82	8,65	12,47
	Tangencial	74,20	4,16	9,17	13,33

NOTA: DFA: direção do fluxo de água; TUI: Teor de umidade inicial; TAL: Tempo do fluxo da água livre; TAI: tempo do fluxo da água de impregnação; TT: tempo de fluxo total.

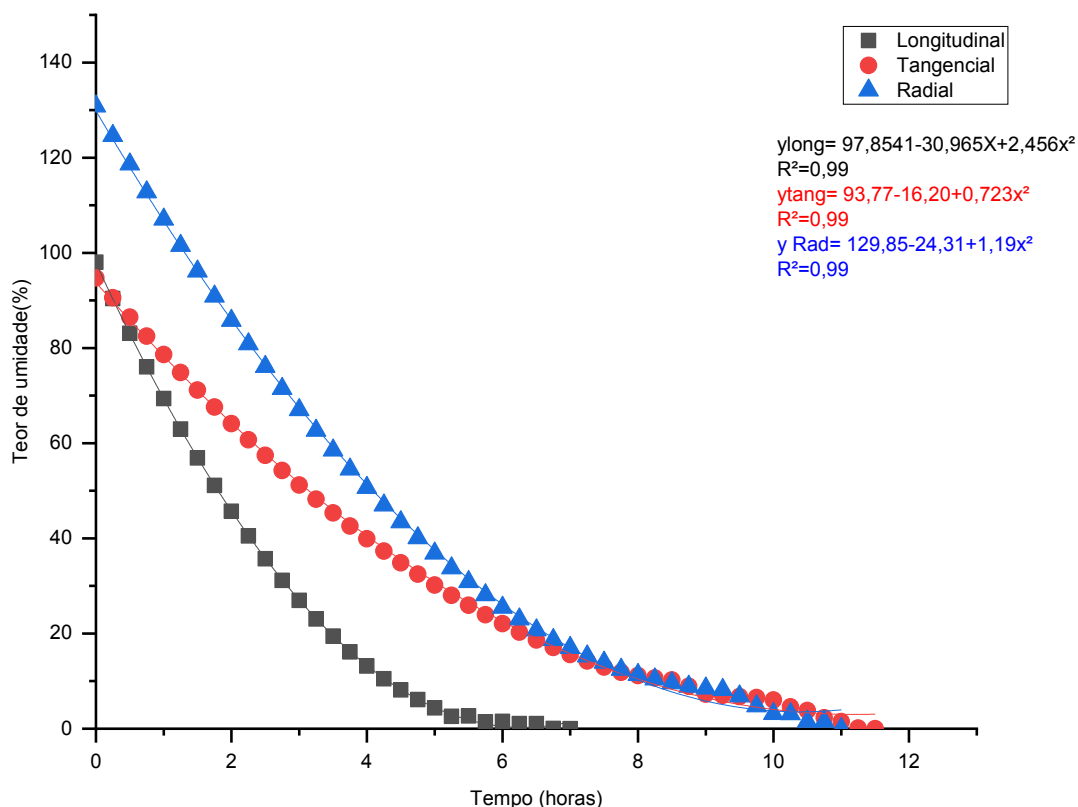
De modo geral, o teor de umidade inicial do lenho encontrado entre os eixos ortotrópicos apresentou variação. Conforme Tabela 12, o eixo longitudinal apresentou maiores valores de umidade inicial, em todos os clones, exceto para o maior teor de umidade no eixo radial para madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Segundo Susin (2012), o gênero *Eucalyptus* pode apresentar grande variação no teor de umidade inicial, em função de idade, espécie, massa específica, aspectos anatômicos, químicos, entre outros. Monteiro (2014), obteve valores próximos de teor de umidade inicial, utilizando a mesma metodologia de amostragem para madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus*. É notório que a umidade inicial da madeira afeta, de forma significativa, o processo de secagem, pois a remoção da água capilar deve ocorrer de forma lenta e cuidadosa, tornando-se importante fator para a condução da secagem. Assim, esse parâmetro influencia no tempo de remoção de cada tipo de água, bem como na velocidade de secagem da madeira.

Da análise dos três clones, observa-se que os valores apresentados na TABELA 12, quanto aos tempos de secagem nas respectivas faixas de remoção da água na madeira (água livre, água de impregnação e água total), entre as direções ortotrópicas, são coerentes com os encontrados na literatura. A direção longitudinal perde água rapidamente quando comparada com a direção radial, que, por sua vez, perde mais água que a direção tangencial (MOUCHOT et al. 2006; AHMED; CHUN 2011; KEDROV 2012; MONTEIRO et al. 2020).

Analisando separadamente cada curva, nota-se, na Figura 18, que, para a madeira do clone 1 (*E. grandis* x *E. urophylla*), o eixo longitudinal, conforme esperado, apresentou rápida perda de umidade em menor tempo – levando, aproximadamente três horas para atingir o ponto de saturação das fibras. Assim, o eixo longitudinal perdeu rapidamente a água livre e, conseqüentemente, a secagem foi encerrada com aproximadamente 8 horas – enquanto que os demais eixos (radial e tangencial) ainda continuaram perdendo umidade.

FIGURA 14- CURVA DE SECAGEM DA MADEIRA NAS DIFERENTES DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DO LENHO DO CLONE 1



FONTE: O autor (2020).

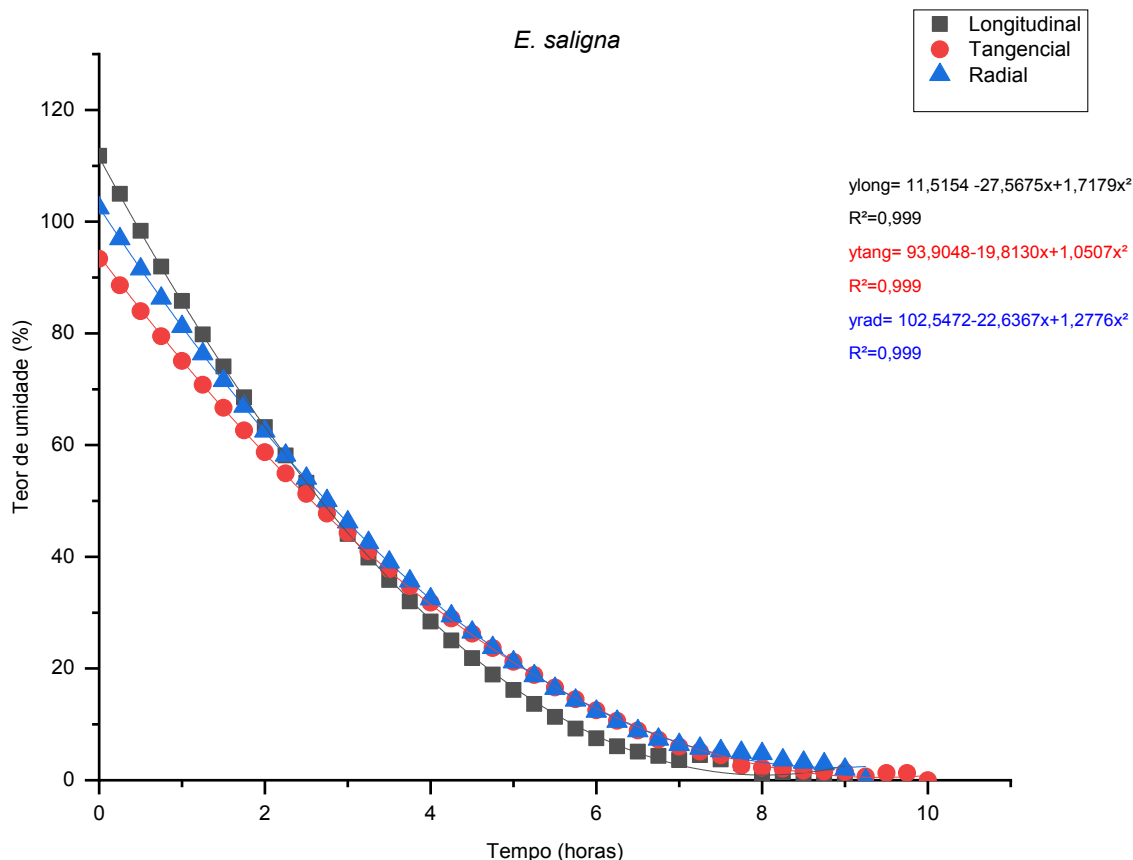
Ainda, observa-se nas curvas de secagem que o eixo radial, para o clone 1, levou maior tempo que o tangencial para atingir o PSF, o que diverge do observado na literatura (MONTEIRO et al. 2020). Isso pode ser explicado pelo fato de as amostras utilizadas na secagem drástica, para esse eixo, apresentarem maior teor de umidade inicial, como visto anteriormente, na Tabela 12 – o que fez com que, no eixo radial, a madeira levasse um maior tempo para atingir o PSF. De toda forma, esse comportamento não afetou a taxa de secagem, conforme será abordado nos tópicos seguintes.

Ainda na mesma curva, pode-se inferir (FIGURA 18) que na remoção da taxa da água de impregnação, as direções eixo radial e tangencial levaram praticamente o mesmo tempo para perder a umidade até o final da estabilização. Apesar do maior teor de umidade final, o eixo radial finalizou a curva em menor tempo que a direção tangencial. Esse comportamento também foi observado por Monteiro et al. (2020), que não encontraram diferenças entre as curvas de secagem para os eixos radial e tangencial na remoção da água de impregnação para madeira de *Corymbia citriodora*.

Nas curvas de secagem para madeira do clone 2 (*E. saligna*), conforme Figura 19, nota-se que o eixo longitudinal exibiu rápida perda de umidade em menor tempo, levando aproximadamente quatro horas para atingir o ponto de saturação das fibras, o que demonstra a rápida perda de água livre. Mesmo apresentando maior teor de umidade inicial,

a secagem do eixo longitudinal foi encerrada com aproximadamente oito horas, enquanto que os demais eixos (radial e tangencial) ainda continuaram perdendo umidade.

FIGURA 15-CURVA DE SECAGEM DAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DO CLONE 2



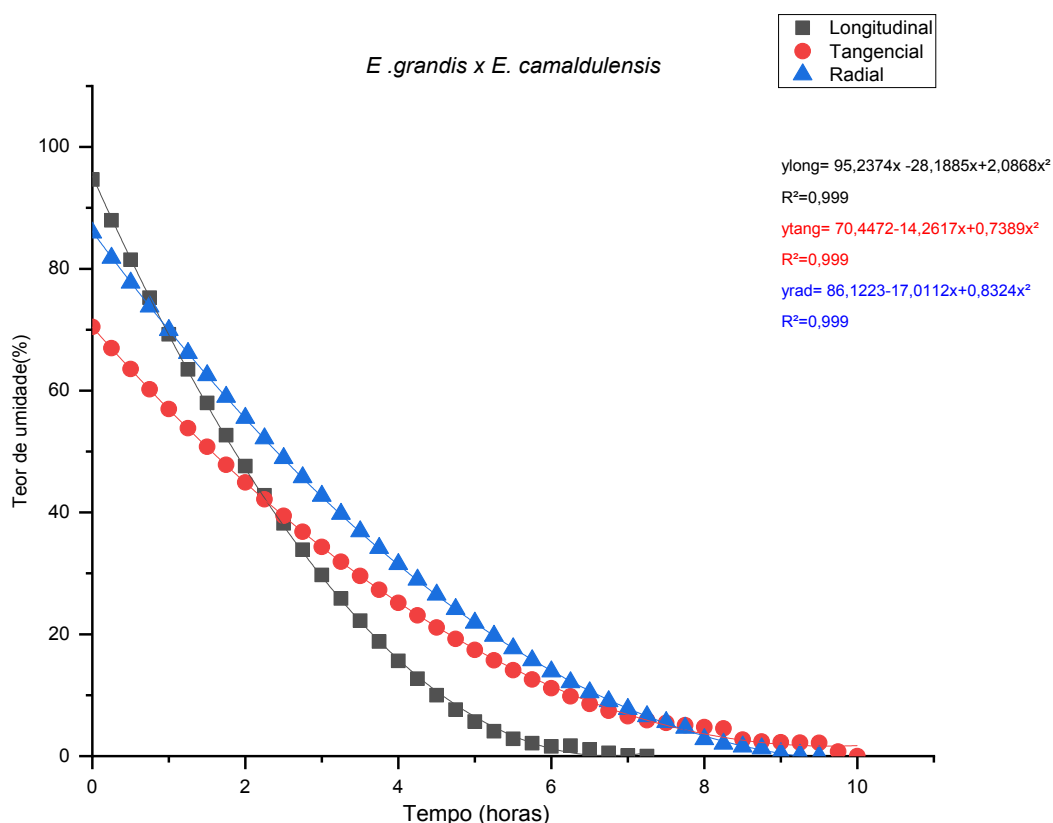
FONTE: O autor (2020).

O comportamento apresentando para as curvas de dessorção da água no eixo radial e tangencial (FIGURA 19) mostra que o radial, apesar de um teor de umidade inicial maior que o tangencial, exibiu perda de umidade esperada, levando aproximadamente quatro horas para atingir o PSF. As amostras do eixo tangencial apresentaram comportamento semelhante, com menor teor de umidade inicial médio. Esses resultados vão ao encontro do que foi relatado por Monteiro (2014) para madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia*. O mesmo comportamento observado para a movimentação da água de impregnação para a espécie anterior também foi encontrado no presente estudo, em que as curvas de secagem para o eixo radial e tangencial se sobrepõem, demonstrando que ambas perderam a umidade ao mesmo tempo. A curva do eixo radial teve a secagem finalizada antes do tangencial, o que já era esperado, conforme resultados relatados pela literatura (MOUCHOT et al. 2006; AHMED; CHUN 2011; MONTEIRO, 2014).

A Figura 20 apresenta as curvas de dessorção para o clone 3. Constata-se que a perda de umidade na curva no eixo longitudinal (FIGURA 20) para a madeira desse clone

mostra, novamente, que o eixo longitudinal, mesmo apresentando o maior teor de umidade inicial, ultrapassou as curvas de dessecção dos eixos radial e tangencial, atingindo o PSF em tempo médio de três horas e finalizando a curva com aproximadamente 7,5 horas – enquanto as curvas de secagem das amostras do eixo radial e tangencial ainda continuaram em dessecção.

FIGURA 16-CURVA DE SECAGEM DAS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DO CLONE 3



FONTE: O autor (2020).

O comportamento apresentando para as curvas de dessecção do eixo radial e tangencial (FIGURA 20) denota que o eixo radial apresentou maior teor de umidade inicial e que perdeu água rapidamente, levando aproximadamente 4 horas para atingir o PSF. Por outro lado, o eixo tangencial, com menor teor de umidade inicial, levou praticamente o mesmo tempo que o eixo radial para atingir o PSF. O comportamento da água de impregnação para o clone 3 demonstra que, logo após o PSF, as curvas do tangencial e do radial apresentaram desempenho semelhante, sendo que, ao final da secagem, o radial perde água de impregnação mais rapidamente quando em relação ao tangencial, encerrando a secagem com menor tempo. Segundo Mouchot et al. (2006), na madeira, sejam quais forem as espécies ou direções ortotrópicas, as difusividades (tanto na água em forma de vapor como líquida) nas três direções são diferentes porque dependem da morfologia das espécies. Os autores relatam que diversos fatores anatômicos favorecem o fluxo de água, como o arranjo de vasos, fibras e parênquima axial. Além disso, os extrativos

presentes na parede celular e nas células de raio podem afetar o fluxo de água, principalmente da água de impregnação, o que explica o comportamento das curvas de dessorção para a madeira dos três clones.

Estudos sobre o fluxo de água nas direções ortotrópicas ainda são recentes, principalmente avaliando os eixos radial e tangencial. Em comparação com estudos recentes, os resultados encontrados estão de acordo com a literatura (AMER et al., 2019; MONTEIRO et al., 2020). Nesse sentido, Ahmed; Chun (2011) avaliaram a permeabilidade longitudinal da madeira de *Tectona grandis*, utilizando solução de safranina, e encontraram a condução axial 3,5 vezes maior que a direção radial. Silva et al. (2010); Rezende (2014), em estudo sobre o gênero *Eucalyptus*, encontraram somente fluxo de líquido na direção longitudinal, em virtude da metodologia empregada, e não registraram valores para permeabilidade radial e tangencial.

De maneira geral, as madeiras dos clones apresentaram perdas rápidas de umidade, sendo que o fluxo de água na direção longitudinal foi predominante. A rápida movimentação da água em função do tempo pode ser explicada pelo fato de se utilizar secagem drástica, em que a alta temperatura favorece o fluxo. Andrade (2000) confirma esses resultados. O autor indica que secagens mais agressivas reduzirão o tempo de secagem; nesse sentido, os comportamentos apresentados nas curvas de dessorção da água na madeira não variaram muito e apresentaram rápida perda de umidade, principalmente acima do PSF.

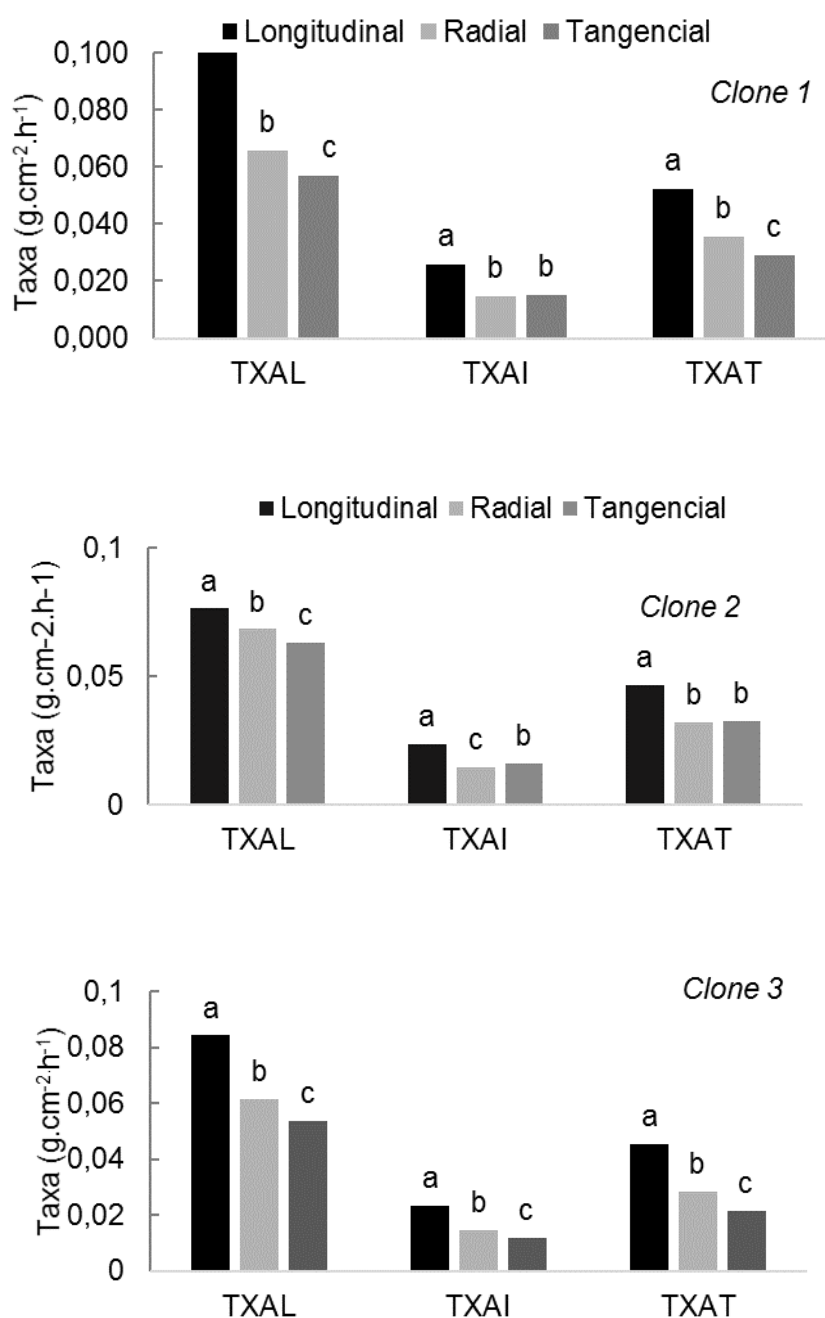
Ainda, é possível inferir que o meio influencia diretamente na curva de secagem. No presente estudo, a temperatura de secagem utilizada (100°C) dentro da estufa e a ausência de circulação de ar evidenciaram condições severas de secagem, contribuindo com a rápida perda de umidade, o que favoreceu a evaporação da água na madeira, principalmente acima PSF. Segundo Galvão; Jankowsky (1985), altas temperaturas favorecem o processo de secagem da madeira, fornecendo mais energia para evaporação da água e elevando o potencial do ar para receber mais vapor de água.

Da análise das curvas de dessorção (FIGURAS, 18,19 e 20), percebe-se que a perda de umidade na secagem drástica segue uma tendência polinomial, como descrito por Andrade (2000); Santos et al. (2003); Susin (2012) para madeira do gênero *Eucalyptus*. Desse modo, foram obtidos modelos matemáticos com altos coeficientes de determinação para todas as direções ortotrópicas de cada clone, que melhor se ajustaram na secagem drástica. Para todos os modelos estimados (polinômios de segundo grau), os coeficientes de determinação foram superiores a 0,99, evidenciando o bom comportamento quando utilizados esses modelos para estimar a perda de umidade em função do tempo. Passarini; Hernandez (2016), avaliando a dessorção da madeira de *Eucalyptus grandis*, também alcançaram curvas com altas taxas de dessorção no início da secagem, principalmente acima do PSF.

4.7.2 Taxa de secagem nas direções ortotrópicas

A FIGURA 22 apresenta o teste de médias para a taxa de água livre (TXAL), taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa de água total (TXAT) em cada direção ortotrópica na madeira dos clones. Em todos os clones, as taxas de secagem relativas aos eixos ortotrópicos foram significativas.

FIGURA 17-TAXAS DE SECAGEM PARA AS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES



Nota: TXAL: taxa de água livre; TXAI: taxa da água de impregnação; TXAT: taxa da água total. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Clone 1: *E. grandis* x *E. camaldulensis*; Clone 2: *E. saligna*. Clone 3: *E. grandis* x *E. camaldulensis*

Ao analisar a Figura 22, a madeira de todos os clones apresentou diferenças estatísticas entre o fluxo de suas direções, demonstrando que os maiores valores médios da taxa de água livre (TXAL), como esperado, foram para a direção longitudinal, seguidos da radial e, depois, da tangencial (FIGURA 22). Esses resultados podem ser explicados em função da direção dos vasos que acompanham o sentido longitudinal, que são os principais sistemas condutores das folhosas e facilitam o fluxo da água livre. Monteiro (2014) encontrou maiores taxas de secagem para água livre na direção axial para madeira de dois clones de *E. urophylla*. Ainda, as pontoações raio-vasculares e intervasculares também podem explicar tais resultados (MONTEIRO; LIMA, 2020).

Na faixa de umidade do lenho para remoção da taxa de água de impregnação (TXAI), o clone 1 não demonstrou diferenças estatísticas entre o fluxo na direção radial e tangencial, evidenciando o maior valor de remoção da água aderida à parede celular para a direção longitudinal (FIGURA 22). A mesma tendência foi observada por Monteiro et al. (2017) para madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus*, utilizando metodologia de secagem diferente deste estudo, nas mesmas direções ortotrópicas. Para a madeira de *E. saligna* (clone 2) e *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3), observa-se (FIGURA 22) que ambas apresentaram diferenças estatísticas entre as direções do fluxo, denotando maiores valores médios para o eixo longitudinal em ambos os clones.

Na madeira de *E. saligna* (clone 2), o fluxo da direção tangencial diferiu estatisticamente do eixo radial, sendo que o primeiro apresentou maior valor médio. A pequena diferença encontrada pode ser atribuída a algum tipo de obstrução das pontoações raios vasculares, que pode interferir na movimentação do vapor d'água, dificultando o movimento de difusão. Segundo Monteiro et al. (2017), grupos hidroxílicos dos polímeros da madeira (celulose) atraem as moléculas de água, obstando a movimentação da água impregnada. Ligações de hidrogênio são formadas em áreas de sorção (SIMPSON, 1991), juntamente com outros grupos químicos polares que atraem água (BERTHOLD et al. 1996). Assim, quanto maiores os valores relacionados às dimensões da parede celular, consequentemente, menor será o fluxo da água na madeira.

Para a madeira do *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone 3) (FIGURA 22), o maior fluxo médio para taxa da água de impregnação (TXAI) foi encontrado para direção axial, seguido do radial e tangencial. Maior difusividade foi observada para o fluxo da direção radial em relação ao tangencial para a madeira desse clone. Segundo Monteiro et al. (2017) a presença dos raios na madeira provavelmente origina o aumento da difusividade radial, em comparação com a difusividade tangencial.

Na faixa do teor de umidade para taxa da água total (TXAT) (Figura 22), a madeira dos clones 1 e 3 exibiu os maiores valores médios para o fluxo na direção axial, seguido das direções radial e tangencial. Já para a madeira do *E. saligna*, o maior valor médio foi verificado na direção longitudinal, seguido das direções radial e tangencial, as quais não diferiram estatisticamente entre si. A taxa de água total do lenho leva em consideração tanto o fluxo da água livre como da água higroscópica, visto que a maior TXAL do radial compensou no fluxo total na madeira dessa espécie.

Ainda, com base nos resultados da FIGURA 22, para a madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*), em média, a TXAL foi superior quando comparada com a TXAI, sendo 4,0; 4,4; 3,7 vezes para as direções longitudinal, radial e tangencial, respectivamente. A TXAL foi maior que a TXAT em média, sendo 1,98; 1,8; 1,94 vezes para as direções longitudinal, radial e tangencial.

Para a madeira do clone 2, em média, a TXAL foi superior quando comparada com a TXAI, sendo 3,2; 4,7 e 3,9 vezes para as direções longitudinal, radial e tangencial, respectivamente. A TXAL da madeira foi maior que a TXAT em média, sendo 1,63; 2,1 e 1,9 vezes para as direções longitudinal, radial e tangencial.

Ainda, para a madeira do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), em média, a TXAL foi superior quando comparada com a TXAI, sendo 3,5; 4,2; 4,5 vezes para as direções longitudinal, radial e tangencial, respectivamente. A TXAL foi maior que a TXAT, em média 1,85; 2,2; e 2,4 vezes para as mesmas direções já mencionadas.

Nesse sentido, nos estudos realizados com o gênero *Eucalyptus*, Ciniglio (1998) avaliou, também, a secagem drástica a 100°C de amostras 1 x 5 x 10 cm e encontrou uma relação de 4,2 vezes entre a TXAL e TXAI e de 2,3 vezes entre a TXAL e TXAT. Barbosa et al. (2005) avaliaram madeira de clones e híbridos de *Eucalyptus* com 7,5 anos, também secas a 100°C, com amostras de 1x 5 x10 cm. A relação média encontrada neste estudo foi de 4,0 vezes entre a TXAL e TXAI e de 1,8 vez entre a TXAL e a TXAT.

Soares et al. (2016), ao avaliarem a secagem drástica no lenho juvenil da madeira de *Eucalyptus*, utilizando o mesmo tamanho de amostras empregado pelos autores anteriores, encontraram relação de 3,7 vezes entre a TXAL e a TXAI e 2,00 vezes entre a TXAL e a TXAT. Em comparação com a literatura citada, os resultados encontrados são semelhantes a este trabalho, uma vez que os autores mencionados aplicaram a mesma metodologia abordada nesse estudo.

As diferenças entres as TXAL e TXAI das amostras encontradas para as direções longitudinal, radial e axial são responsáveis tanto pela cinética de movimentação das águas na madeira como pela estrutura anatômica em cada direção ortotrópica. O maior fluxo de água na direção longitudinal encontrado é atribuído, principalmente, aos vasos na madeira (SIAU, 1971; KEDROV, 2012), em que a permeabilidade axial está diretamente relacionada

à sua distribuição, ao seu diâmetro e ao conteúdo. O movimento da água na direção transversal do fuste pode ser explicado, também, em função dos raios ou parênquima radial. Essas estruturas possuem pontoações que se ligam aos elementos vasculares (pontoações raio-vasculares), as quais auxiliam na movimentação transversal da água (KEDROV, 2012; MONTEIRO; LIMA, 2020).

A saída da água livre na madeira é provocada por forças capilares. Segundo Ciniglio (1998), nesse período, a taxa de secagem pode ser constante. Após essa fase, à medida que a água livre é removida, resta apenas a água adsorvida, quando é necessário empregar maior energia para retirar essa água, caracterizado pelo processo de difusão.

4.7.1.2 Taxa de secagem no sentido base-topo do fuste

a) Longitudinal

As análises de variância para Taxa da água livre (TXAL), Taxa da água de impregnação (TXAI) e Taxa da água total (TXAT) encontram-se na TABELA 10, no ANEXO 1. As análises de variância indicam que houve efeito da posição para todas as taxas de secagem (TXAL, TXAI, TXAT) na madeira dos três clones. As interações foram desdobradas e o teste de médias é apresentado na TABELA 13.

TABELA 11-TAXAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus* NA DIREÇÃO LONGITUDINAL DO FUSTE

TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,110 aA	0,098 bA	0,108 aA	0,105
2	0,075 bC	0,075 bC	0,081 aC	0,077
3	0,081 bB	0,084 abB	0,088 aB	0,084
Médias	0,088	0,085	0,092	
TXAI (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,030 aA	0,024 bA	0,024 bB	0,026
2	0,025 aB	0,024 aA	0,022 bB	0,024
3	0,022 bC	0,020 cB	0,031 aA	0,024
Médias	0,026	0,023	0,025	
TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,059 aA	0,048 bA	0,050 bA	0,052
2	0,048 aB	0,047 aA	0,044 bB	0,046
3	0,043 bC	0,039 cB	0,053 aA	0,045

Médias	0,050	0,045	0,049
TXAL: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Taxa da água livre; TXAl: Taxa da água de impregnação; TXAT: Taxa da água total; Clone 1: <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> ; Clone 2: <i>E. saligna</i> . Clone 3: <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> .			

Conforme a TABELA 13, pode-se concluir que a TXAL, dentro do fator clone, para madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) se destacou com o maior valor médio na base e no topo do fuste, diferindo estatisticamente do meio. Os clones 2 (*E. saligna*) e 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresentaram o maior valor médio no topo do fuste. Quanto ao fator posição, todos os clones difeririam estaticamente entre si, notadamente a madeira do clone 1, com maior taxa de água livre na base, diminuindo no meio e voltando a subir no topo.

As divergências entre base e topo do tronco podem ser explicadas em função da estrutura anatômica das espécies, principalmente pela frequência de vasos e porcentagem de fibras e o diâmetro desse elementos. Geralmente, no topo, as células possuem paredes mais finas e, conseqüentemente, mais água presente nos lúmens e vasos, o que pode aumentar a permeabilidade da madeira das espécies estudadas (mesmo sem avaliar as características anatômicas), não sendo obstruído o fluxo da água livre (TRUGILHO et al. 1996; GATTO et al. 2012; LOIOLLA; 2015). Segundo Monteiro et al. (2017), há aumento da eficiência da condução de líquidos com o aumento do diâmetro dos elementos de vaso na saída da água livre para madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus*. Nesse sentido, as variações ao longo do fuste são de extrema importância no que tange à movimentação da água para diversas aplicações tanto para secagem de toras como da madeira serrada e, principalmente, no controle de defeitos como rachaduras, o que é observado neste estudo. Zanuncio et al. (2013), ao avaliarem a secagem de toras de *Eucalyptus* ao longo do fuste, encontraram maiores taxas de secagem nas toras do topo.

Na análise da interação entre os fatores (posição x clone) na Tabela 13, a maior TXAL é representada pela madeira do clone 1 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), em que a base das árvores aumentou o fluxo de água livre na madeira dessa espécie. É possível observar que o fluxo de água livre para o clone 1 é aproximadamente 1,3 vez mais rápida que a madeira do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) e, aproximadamente, 1,5 vez maior que a do clone 2 (*E. saligna*).

As taxas de secagem para a água livre na madeira dos três clones são maiores do que os relatados na literatura (Barbosa et al. 2005; Batista, 2009; Susin, 2012; Soares Dias et al. 2016) para madeira do gênero *Eucalyptus*, utilizando-se a mesma metodologia de secagem (secagem drástica). Tais diferenças são atribuídas às características de cada espécie, ao tamanho das amostras, às condições de ensaio e, principalmente, à orientação

longitudinal dos blocos de madeira, sendo que todas favoreceram o aumento do fluxo da água livre, seguindo a orientação dos elementos anatômicos. Sabe-se que o movimento da água livre é provocado por forças capilares, necessitando de menos energia para sair da madeira do que a água de impregnação. Quando se tem um aumento da energia (temperatura), conseqüentemente, ocorre maior agitação das moléculas de água na madeira e maior evaporação.

Não obstante a madeira do clone 3 ser mais permeável nos resultados de permeabilidade ao ar (TABELA 11), apresentou menor taxa de movimentação da água livre que o clone 1 (TABELA 13). Esses resultados podem estar atribuídos às diferenças entre os métodos de ensaio e o estado físico do fluido. Segundo Siau (1971), a viscosidade da água é superior à do ar atmosférico, em torno de 55 vezes maior a uma temperatura de 20 °C. Além disso, a água pode se ligar à madeira em função da higroscopicidade do material, diminuindo a vazão do fluido. Segundo Rezende (2014), não apenas fatores internos à madeira afetam o fluxo e a permeabilidade, mas o tipo de fluido empregado no ensaio também é fator relevante para analisar a permeabilidade do material. Além disso os coeficientes de variação encontrados, explicam a variação entre as amostras utilizados no ensaio de permeabilidade ao ar o que também pode explicar os resultados encontrados referentes a taxa da água livre para madeira desse clone.

Para a taxa da água de impregnação (TXAI) (TABELA 13) dentro do fator clone, a madeira do clone 1 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) exibiu maior valor médio na base, sendo que o meio e o topo do fuste não diferiram estaticamente. Esses resultados podem ser explicados em função da maior espessura da parede das células, aumentando a quantidade de água higroscópica, cujo movimento é mais lento. Já para a madeira do clone 2, a base e o meio do fuste foram iguais estatisticamente, diferindo do topo. A madeira do clone 3 apresentou maior valor médio no topo, seguido da base e, depois, meio, com comportamento decrescente.

Da análise da interação, a maior TXAI é representada pela madeira do clone 3, evidenciando que o topo apresentou o maior valor médio – 1,3 vez mais permeável que a madeira do clone 1 e 1,5 vez mais permeável que a do clone 2. Apesar da pequena diferença entre as espécies, o aumento do fluxo de água impregnada no topo do fuste pode ser explicado em razão da sua menor quantidade de extrativos totais presentes na parede celular (TABELA 7) e da menor massa específica básica encontrada (GRÁFICO 3), que aumentaram a movimentação dessa água no topo. É difundido na literatura (KOLLMANN; COTÊ JUNIOR, 1968; SIAU, 1984; SIMPSON, 1991; KLITZKE, 2007; OLIVEIRA et al. 2010; ZANUNCIO et al. 2015) que a massa específica da madeira é de suma importância na predição do seu comportamento durante a etapa de secagem, podendo-se inferir que quanto maior a massa específica, menor será a taxa de secagem, o que também é

observado para madeira do clone 3, onde esse apresentou maior taxa de secagem da água de impregnação, sendo a madeira com menor massa específica básica (GRÁFICO 3).

Por outro lado, Monteiro et al. (2017) relatam ausência de correlação entre a massa específica da madeira e o fluxo de água impregnada em toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. Importante ressaltar que, apesar das diferentes dimensões entre as toras e as amostras, os autores também avaliaram a TXAI parcial durante a secagem em ambiente natural até a umidade de equilíbrio.

Ainda, é possível analisar que mesmo a madeira do clone 3 sendo menos permeável para taxa de água livre no sentido longitudinal (TABELA 13) e mais permeável nos resultados de permeabilidade ao ar (TABELA 11), essa apresentou maior taxa de secagem da água de impregnação. Nesse sentido, a madeira desse clone se torna interessante do ponto de vista da secagem industrial, pois apresentaria maior velocidade de secagem na remoção da água de impregnação, que é caracterizada pelos movimentos de difusão e lento. Nesse sentido, a maior parte da energia gasta na secagem é proveniente da remoção da água aderida à parede celular e requer maior tempo. Uma maior velocidade de secagem da madeira dessa espécie diminuiria os custos com energia no secador, velocidade dos ventiladores e, conseqüentemente, reduziria tempo de secagem. Segundo Klitzke (2002), a redução da velocidade do ar também reduz, significativamente, os custos de secagem.

Já no fator posição ao longo do fuste para taxa da água de impregnação (TXAI) (TABELA 13), na base a madeira do clone 1 apresentou o maior valor médio, seguida dos clones 3 e 2. Na região do meio do fuste, a madeira dos clones 1 e 2 foram iguais estatisticamente, divergindo apenas do clone 3. No topo, o maior valor médio foi representado pela madeira do clone 3, destoando estatisticamente dos demais.

Em relação a taxa de água total TXAT (Tabela 13), percebe-se que dentro do fator clone, a madeira do clone 1 denotou o maior valor médio na base, diferindo estatisticamente dos demais clones. Para madeira do clone 2, os valores médios foram iguais estatisticamente na base e meio, divergindo do topo. Já a madeira do clone 3 exibiu comportamento decrescente, sendo seu maior valor médio no topo, seguido do meio e da base. Para o fator posição, a taxa de água total TXAT (TABELA 13) na base teve o maior valor médio representado pela madeira do clone 1, seguida dos clones 2 e 3, destoando estatisticamente entre si. No meio, a TXAT não diferiu estaticamente entre a madeira dos clones 1 e 2. No topo, as maiores TXAT foram retratadas pela madeira dos clones 1 e 3.

Quanto à interação entre os fatores (clone x posição), a base proporcionou aumento na taxa de secagem total (TXAT) na madeira do clone 1, sendo 1,20 vez mais permeável que a madeira dos demais clones. Dessa maneira, os resultados encontrados na TAXT demonstram que o movimento da água livre contabilizou para maior taxa de secagem dessa espécie. De acordo com Stamm (1964), o movimento da água capilar pode ser favorecido

pelo aumento da temperatura, pela existência de bolhas de ar no interior das células e pelo aumento do diâmetro das pontuações. Jankowsky et al. (2003) afirmam que a movimentação interna da água ocorre nas fases de líquido, vapor na água higroscópica.

Assim, como a movimentação na fase líquida é fundamentalmente um fenômeno de capilaridade, sendo afetada pela estrutura anatômica da madeira, a movimentação nas outras fases é, basicamente, um fenômeno difusivo, afetado não só pelas condições termodinâmicas, como por características da própria madeira, notadamente a massa específica.

b) Radial

As análises de variância para taxa da água livre (TXAL), taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa de água total (TXAT) da madeira dos três clones encontram-se na TABELA 11, ANEXO 1. Os resultados indicam que houve efeito significativo para os fatores posição e clone na madeira na direção radial, demonstrando que nesse eixo a posição não interferiu nas taxas de secagem. Para a TXAI, a interação entres os fatores clone e posição foi significativa. O desdobramento dos fatores é apresentado na TABELA 14.

TABELA 12-TAXAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus* NA DIREÇÃO RADIAL

Radial				
TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,0648	0,0631	0,0702	0,066 A
2	0,0669	0,0708	0,0697	0,066 A
3	0,0609	0,0601	0,0640	0,062 B
Médias	0,064B	0,065 B	0,068A	
TXAI (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,0141	0,0150	0,0146	0,015 A
2	0,0142	0,0140	0,0149	0,014 A
3	0,0149	0,0144	0,0144	0,015 A
Médias	0,0144 A	0,0145 A	0,0146 A	
TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias

1	0,0360	0,0356	0,0354	0,035 A
2	0,0312	0,0329	0,0319	0,032 B
3	0,0296	0,0274	0,0279	0,028 C
Médias	0,0322 A	0,0319 A	0,0316A	

Médias com as mesmas letras maiúsculas em cada e linha e minúscula em cada coluna não diferem pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. TXAL: Taxa da água livre; TXAI: Taxa da água de impregnação; TXAT: Taxa da água total; Clone 1: *E. urophylla* x *E. grandis*; Clone 2: *E. saligna*. Clone 3: *E. grandis* x *E. camaldulensis*.

Na análise da TABELA 14, para a taxa da água livre (TXAL) da madeira, percebe-se que a madeira dos clones 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e 2 (*E. saligna*) foram iguais estatisticamente, apresentando os maiores valores médios, que foram 1,05 vez maior que o clone 3. Esses resultados podem ser explicados em função das características anatômicas das próprias espécies, das condições do ensaio e, principalmente, da direção do fluxo da água na direção radial, que pode ser favorecida pela presença das células parenquimáticas e pelas pontoações. As pontoações, segundo Kedrov (2012), apresentam particularidades especiais para a ocorrência do fluxo da água, como o achatamento e o espessamento da parede celular próxima às pontoações, as quais melhoram a penetração da água que ocorre sob pressão.

Quanto ao fator posição, o maior valor médio da taxa da água livre (TXAL) foi verificado para o topo do fuste, na madeira dos três clones, sendo que a base e o meio não diferiram estatisticamente. O movimento da água livre no topo do fuste das árvores pode ter sido favorecido pela menor espessura das paredes celulares, facilitando a comunicação entre as pontoações raio vasculares e os vasos. Segundo Monteiro; Lima (2020), as pontoações raio-vasculares tendem a aumentar a movimentação da água livre e total na madeira de *Eucalyptus*.

Para a taxa da água de impregnação (TXAI), todos os clones foram iguais estatisticamente na direção radial. Já para a taxa de água total (TXAT), nota-se que o maior valor médio foi para a madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*), espécie que se destacou com a secagem mais rápida nessa direção. Quanto ao fator posição, foi igual estatisticamente para todos os clones.

c) Tangencial

As análises de variância para as taxas da água livre (TXAL), taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa da água total (TXAT) na direção tangencial encontram-se no ANEXO 1. Para a taxa da água de impregnação, não houve interação significativa entre os fatores (clone e posição). Para taxa de água livre e total, a interação entre os fatores foi significativa. O desdobramento das interações é apresentado na Tabela 15.

TABELA 13-TAXAS DE SECAGEM PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus* NA DIREÇÃO TANGENCIAL

Tangencial				
TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,053 bB	0,059 aB	0,058 aB	0,057
2	0,061 aA	0,064 aA	0,065 aA	0,064
3	0,051bB	0,053 bC	0,058 aB	0,054
Médias	0,055	0,059	0,060	
TXAI (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,0155	0,0161	0,0154	0,016 A
2	0,0166	0,0165	0,0155	0,016 A
3	0,0115	0,0117	0,0135	0,012 B
Médias	0,011	0,015	0,015	
TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)				
Clone	Base	Meio	Topo	Médias
1	0,029 bB	0,032aA	0,029 bA	0,030
2	0,034 aA	0,033 aA	0,031 bA	0,033
3	0,019 bC	0,021 bB	0,025 aB	0,022
Médias	0,028	0,0291	0,028	

Médias com as mesmas letras maiúsculas em cada e linha e minúscula em cada coluna não diferem pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. TXAL: Taxa da água livre; TXAI: Taxa da água de impregação; TXAT: Taxa da água total; Clone 1: *E. urophylla* x *E. grandis*; Clone 2: *E. saligna*. Clone 3: *E. grandis* x *E. camaldulensis*.

Da análise da Tabela 15, com relação à taxa da água livre (TXAL), dentro do fator clone, o maior valor médio é representado pela madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*). Já a madeira do clone 2 (*E. saligna*) não exibiu diferenças estatísticas entre as suas posições. A madeira do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) demonstrou maior valor médio da taxa da água livre no topo, sendo diferente estatisticamente da base e do meio.

Quanto ao fator posição na base, no meio e no topo, o maior valor médio da TXAL é retratado pela madeira do clone 2 (TABELA15). Da análise da interação entre os fatores (posição e clone), o topo proporcionou aumento na taxa da água livre TXAL para madeira do clone 2 (*E. saligna*), evidenciando que a posição no topo do fuste aumentou a taxa da água livre TXAL para esse clone, sendo esse 1,18 vez maior do que a madeira dos clones 3 e 1 e 1 vez maior que a do clone 1. O movimento da água livre no eixo tangencial é favorecido pelas pontoações raio vasculares, entre raio-vaso, vaso-vaso e entre fibras. Segundo (Siau,

1984), a passagem de fluidos por essas estruturas é complexa, pois o movimento da água acontece tanto na fase líquida quanto na gasosa.

Monteiro et al. (2020), avaliando a influência das pontoações raio vasculares no movimento da água livre na madeira de *Corymbia*, encontraram maior abertura dessas pontoações, o que favorece uma maior taxa de secagem para água livre. Maior abertura das pontoações raio vasculares e intervasculares também foi encontrada para madeira de *Eucalyptus urophylla* para o fluxo da água livre, conforme estudos realizados por Monteiro; Lima (2020).

Na faixa de umidade da TXAI, a madeira dos clones 1 e 2 foram iguais estatisticamente, com os maiores valores médios, divergindo estatisticamente da madeira do clone 3 (TABELA 15). Os baixos valores encontrados no movimento da água de impregnação são característicos do processo de difusão, uma vez que este é influenciado pela maior energia necessária para mover a água na parede celular das fibras, nos elementos de vasos e até mesmo na parede primária dos tecidos parenquimáticos. Além disso, as pontoações raio vasculares e intervasculares podem ter influenciado o movimento difusivo. Monteiro; Lima (2020), analisando a influência das pontoações raio vasculares na taxa da água de impregnação na madeira de *E. urophylla*, afirmam que o aumento do diâmetro das pontoações pode favorecer o fenômeno de difusão. Mesmo sem examinar as características relatadas pelos autores neste estudo, é importante relatar essas constatações.

Para a TXAT (TABELA 15), dentro do fator clone, a madeira do clone 1 apresentou maior valor médio no meio do topo, enquanto a base e o topo foram iguais estatisticamente. A madeira do clone 2, por sua vez, exibiu os maiores valores médios da TXAT na base e no meio, sendo iguais estatisticamente e diferindo do topo. Já para a madeira do clone 3, o maior valor médio da TXAT é representado pelo topo, enquanto a base e o meio não destoaram estatisticamente entre si.

Na análise da interação (TABELA 15), infere-se que a maior taxa de água total do eixo tangencial é representada pela base da madeira do clone 2 (*E. saligna*). A madeira dessa espécie apresenta maior taxa de secagem total (TXAT) na base, sendo 1,17 vez maior em relação à madeira do clone 1 e 1,80 vez maior em relação à madeira do clone 3. De maneira geral, percebe-se que a madeira do *E. saligna* removeu mais rapidamente a água livre, o que favoreceu aumento na secagem total, evidenciando que essa espécie secou mais rapidamente no eixo tangencial.

Fazendo uma análise geral dos resultados, quanto à influência da variação longitudinal na árvore (base, meio e topo), encontrada nas respectivas taxas de secagem (TXAL, TXAI e TXAT), infere-se a utilização, sem exceção, de todas as toras, uma vez que os resultados mostraram grande influência do topo no aumento da taxa de secagem. Com isso, observa-se maior aproveitamento das toras do topo nesse processo. Os resultados

referentes às taxas de secagem na madeira dos três clones permitiram um conhecimento mais aprofundado da movimentação da água na madeira de eucalipto e são interessantes do ponto de vista da aplicabilidade na indústria, principalmente para o desenvolvimento de programas de secagem.

Dessa forma, a classificação de genótipos superiores na madeira de eucalipto, baseada nas diferentes propriedades da madeira, é necessária para que seja possível elaborar programas de melhoramento genético que viabilizem o cruzamento entre espécies com características superiores, com vistas a um melhor aproveitamento da madeira.

4.8. EFEITO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS NO FLUXO DE ÁGUA DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

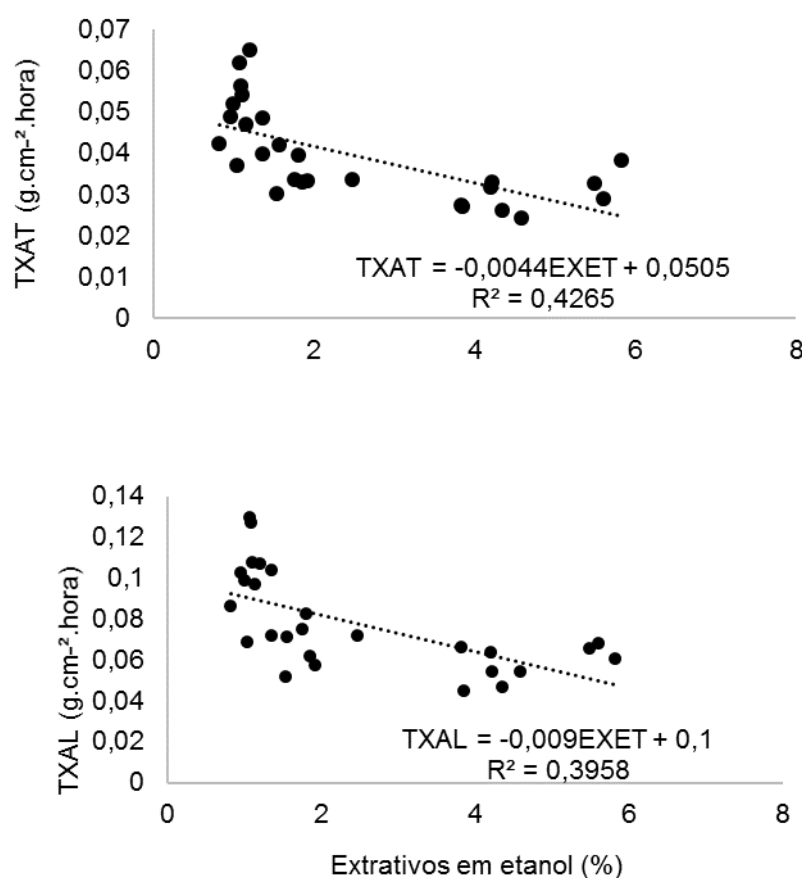
4.8.1 Extrativos em etanol

Conforme o APÊNDICE 2, o eixo longitudinal, radial e tangencial não apresentaram correlações significativas da taxa da água livre (TXAL), taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa da água total (TXAT) para madeira dos três clones, com os extrativos em etanol. Os resultados mostraram que os extrativos obtidos com etanol não influenciaram no fluxo de água nos eixos ortotrópicos para a madeira dos 3 clones.

Por outro lado, da análise do fluxo de água no lenho por clones (APÊNDICE 3), observa-se que a madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) (FIGURA 27) apresentou relação inversa e significativa para remoção da taxa da água livre (TXAL) e do fluxo total (TXAT); ou seja, quanto maior a porcentagem de extrativos em etanol, menor é o fluxo da taxa da água livre.

O mesmo foi observado para o *E. saligna* (clone 2), que apresentou baixa correlação significativa com a taxa da água total (TXAT). A madeira do clone 3 não apresentou correlações significativas com nenhuma taxa de secagem.

FIGURA 18-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS EM ETANOL E O FLUXO DE ÁGUA LIVRE E ÁGUA TOTAL NA MADEIRA DO CLONE 1



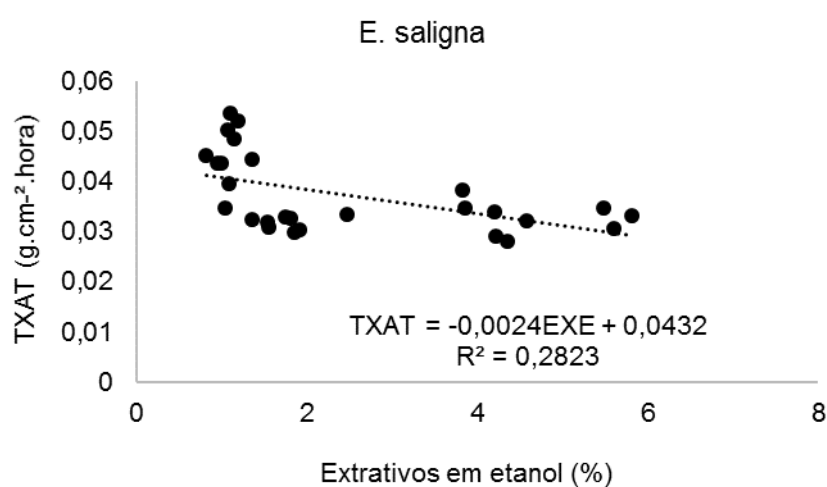
Fonte: O autor (2020). Nota: Clone 1: *E. urophylla* x *E. grandis*. EXET= extrativos em etanol

As correlações da Figura 27 podem ser explicadas, possivelmente, pelo fato de as moléculas de água presentes na madeira serem polares, visto que o etanol também é um solvente polar. Assim, os grupos funcionais OH (hidroxilas) ligados ao átomo de carbono saturado apresentam-se solúveis em solventes polares devido à associação decorrente das ligações de hidrogênio (pontes de hidrogênio). Tal comportamento resulta na interação dos grupos funcionais da madeira com os grupos funcionais (OH) do etanol, apresentando forte ligação entre as moléculas de água e os extrativos solúveis em álcool. Esse fato pode resultar na diminuição do fluxo da água livre.

A influência dos extrativos solúveis em etanol foi mais acentuada para a madeira do clone 1, no que tange à taxa da água total (TXAT) e à taxa da água livre (TXAL) (FIGURA 27), do que para a madeira do clone 2 (TXAT) (FIGURA 28). Essas diferenças permitem inferir que, para a madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*), o fluxo da água livre e da água de impregnação é reduzido pela presença de extrativos.

O caráter desses extrativos em etanol inclui ácidos resinosos, gorduras, ácidos graxos, esteroides e terpenos, que podem estar presentes nos lúmens das células, bloqueando a passagem de água na madeira. É válido ressaltar que a taxa da água total (TXAT) contabiliza no fluxo da água livre e da água de impregnação e que muitos desses extrativos podem ocupar parte da parede celular. Dentro da classe dos extrativos, há componentes higroscópicos que, por apresentarem afinidade com a água, alteram a dinâmica do fluxo e podem dificultar a passagem do fluido (WANGAARD; GRANADOS, 1967).

FIGURA 19-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS EM ETANOL E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TXAT) NA MADEIRA DO CLONE 2



FONTE: O autor (2020).

Os resultados mostram que, dentro de uma mesma espécie, o aumento no teor de extrativos em etanol provoca redução no fluxo de água, possivelmente por se tratar de extração seletiva, os compostos presente na estrutura podem influenciar o fluxo de água nessa espécie. Em comparação com a literatura, Galvão; Jankowsky (1979), analisando a influência dos extrativos solúveis em álcool-benzeno na umidade de equilíbrio da madeira de *Corymbia citriodora*, encontraram forte correlação entre os extrativos e a umidade de equilíbrio da madeira. Mesmo os autores utilizando álcool-benzeno, é possível analisar a aplicação da umidade de equilíbrio que consiste em referência interessante no processo de secagem da madeira, principalmente no controle da secagem ao ar livre, uma vez que a madeira secada pelo ar chegará no teor de umidade em equilíbrio com o ambiente. Tal processo, muitas vezes, é longo e dependente das condições ambientais. Portanto, uma maior quantidade de extrativos na madeira pode dificultar as trocas de umidade entre esta e o ambiente, fazendo com que o processo seja mais lento. Mesmo não se analisando a secagem ao ar livre, essas observações são relevantes na área da secagem.

4.8.2 Extrativos em clorofórmio

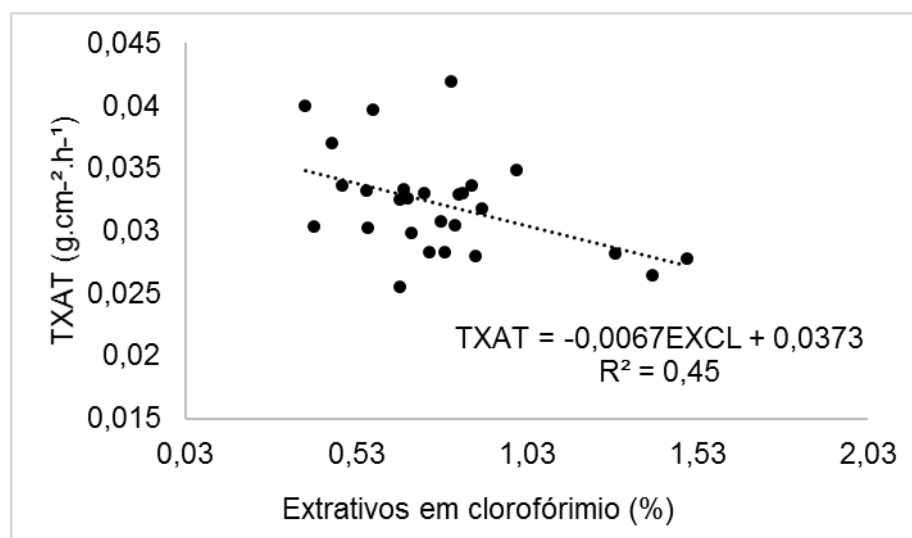
Pelos resultados do APÊNDICE 2, o eixo longitudinal da madeira não apresentou correlações significativas para as taxas da água livre (TXAL), da água de impregnação (TXAI) e da água total (TXAT) para a madeira dos três clones, com os extrativos em clorofórmio.

Esses resultados mostram que os extrativos em clorofórmio, nesse eixo, não influenciaram o fluxo de água na madeira dos três clones de *Eucalyptus*. Tal comportamento deve-se, possivelmente, ao sentido do fluxo na direção axial do lenho – em que os vasos das células estão dispostos na mesma direção – e ao fato de as moléculas extraíveis em clorofórmio não terem tido acesso ao conteúdo de substâncias com afinidade polar, uma vez que esse solvente pode apresentar tanto caráter polar como apolar.

Ainda é possível inferir que o clorofórmio pode não ser capaz de abrir e penetrar nas microfibrilas das paredes celulares. Em vez disso, espera-se que ele remova somente extrativos localizados no lúmen celular e nos espaços intercelulares (HERNÁNDEZ, 2007).

Por outro lado, no eixo radial, a taxa da água total (TXAT) apresentou correlação inversa e significativa com os extrativos em clorofórmio na madeira dos três clones (FIGURA 29 e APÊNDICE 3). Quanto maior o teor de extrativos solúveis em clorofórmio na madeira de eucalipto, menor a taxa de secagem total da madeira nessa direção (radial). Possivelmente, esses resultados estão associados aos extrativos presentes nas células do parênquima radial, que podem apresentar substâncias como gorduras e ceras, os quais agem de forma hidrofóbica (Sjöström, 1993), obstruindo o fluxo de água ao longo dos raios.

FIGURA 20-RELAÇÃO ENTRE EXTRATIVOS E CLOROFÓRMIO E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TXAT) NO EIXO RADIAL, NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020). Nota:EXCL: extrativos em clorofórmio

Do análise do APÊNDICE 3, pode-se deduzir que a madeira do clone 1 apresentou correlações inversamente proporcionais da taxa da água total (TXAT), e da taxa da água de impregnação (TXAI), com o teor de extrativos em clorofórmio. Isso pode ser atribuído pelas substâncias hidrofóbicas presentes na parede celular, retardando o fluxo de água, principalmente na água de impregnação. Ainda, vale ressaltar que essa espécie demonstrou maior quantidade de extrativos solúveis em clorofórmio, já apresentados na (Tabela 7), o que também explica os resultados encontrados nessa correlação.

Ademais, a Tabela 7 também apresenta a baixa porcentagem de extrativos em clorofórmio encontrada para a madeira dessa espécie. Cabe ressaltar que a taxa da água total também contabiliza, na sua somatória, o fluxo da água livre, a qual se encontra nos lúmens das células e espaços intercelulares da madeira (Engelund et al. 2013), onde as substâncias de caráter hidrofílico possuem baixo peso molecular e não dificultariam o fluxo da água.

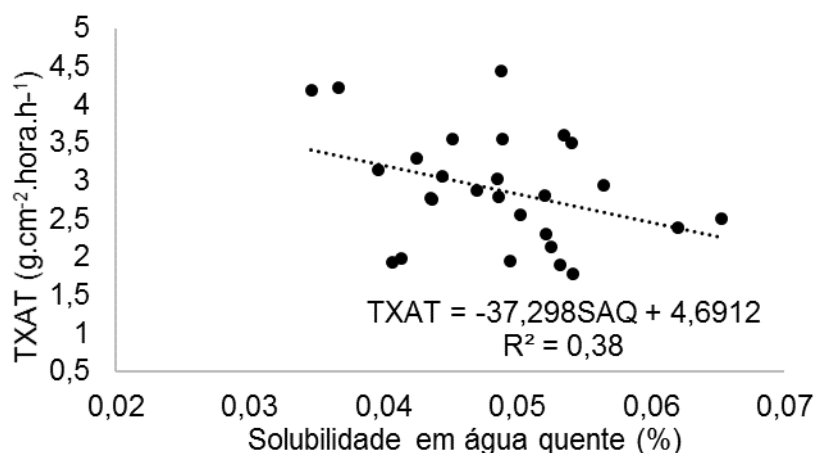
A madeira do clone 3 não demonstrou correlação significativa (TABELA 3, APÊNDICE 3) no que se refere às respectivas taxas de secagem e ao teor de extrativos em clorofórmio, ou seja, os extrativos em clorofórmio não influenciaram no fluxo de água desta espécie.

4.8.3 Solubilidade em água quente e fria

As correlações para solubilidade em água fria e água quente serão apresentadas juntamente neste tópico, pois, qualitativamente, os compostos químicos são os mesmos, o que muda é a quantidade entre eles (Oliveira et al., 2005). Nesse caso, a água quente age como catalisador na remoção dos extrativos.

Uma baixa correlação significativa e inversa foi encontrada no eixo longitudinal para a taxa da água total (TXAT), com os extrativos solúveis em água quente (TABELA 2, APÊNDICE 2,), mostrando que, quanto maior a quantidade desse extrativos, menor é a taxa da água total, o que poderia reduzir o fluxo de água total na madeira (TXAT) dos três clones de eucalipto. (FIGURA 30).

FIGURA 21-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS EM ÁGUA QUENTE O E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TXAT) NO EIXO LONGITUDINAL, NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020). Nota: SAQ= solubilidade em água quente.

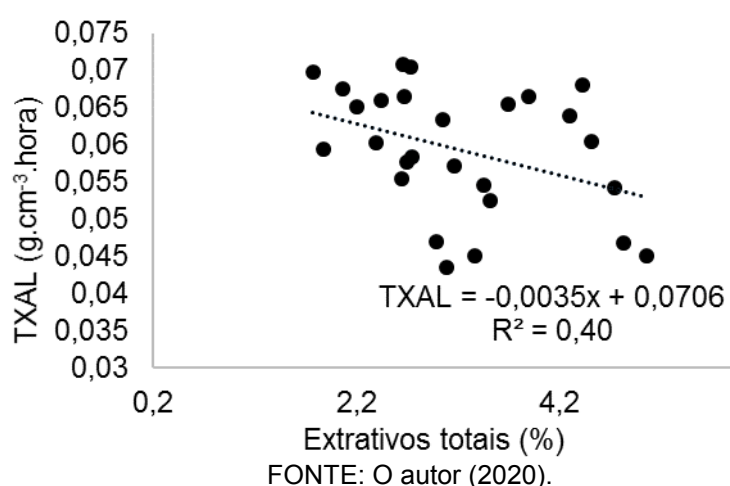
Como pode ser observado na Figura 30, uma maior quantidade de extrativos solúveis em água quente pode diminuir a taxa de secagem total na madeira dos três clones no eixo longitudinal. A extração em água quente da madeira possibilita a retirada de compostos como sais inorgânicos, açúcares, polissacarídeos, ácidos graxos e ésteres de ácidos graxos como álcoois de alta massa molecular (FERREIRA et al. 2015). Nesse sentido, a maior quantidade dessas substâncias na madeira estaria presente nos lúmens das células e, também, na parede celular, reduzindo a taxa de secagem total. Para os demais eixos, não foram verificadas correlações significativas (APÊNDICE 2), com as taxas de secagem.

Na madeira do clone 2, a taxa da água total (TXAT) e a taxa da água de impregnação (TXAI) apresentaram correlações significativas e inversas com os extrativos em água quente e água fria (APÊNDICE 2). Esses resultados indicam que o aumento no teor de extrativos solúveis em águas quente e fria pode dificultar a taxa da água de impregnação e a taxa da água total. Esses resultados podem ser explicados em razão das substâncias presentes na madeira dessa espécie, que são as mesmas já apresentadas anteriormente, na Figura 30. Comparando-se os dois solventes, a água quente solubiliza mais extrativos do que a água fria, pois a temperatura é um catalisador de reação química, o que aumenta a eficiência de extração em termos de quantidade. Isso também pode ser observado no coeficiente de determinação da solubilidade em água quente (APÊNDICE 2), que foi maior quando comparado à solubilidade em água fria.

4.8.4 Extrativos totais

O teor de extrativos apresentados na TABELA 2, APÊNDICE 2, mostra que não houve correlação significativa para o eixo longitudinal com o fluxo da taxa da água livre (TXAL), taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa da água total (TXAT), assim como para a direção radial. Já na direção tangencial, a madeira dos três clones apresentou correlações significativas da taxa da água livre (TXAL) com os extrativos totais, evidenciando que, quanto maior a quantidade de extrativos totais, menor a taxa de água livre (FIGURA 31). Segundo Rezende et al. (2018), madeiras com maior teor de extrativos apresentam correlação negativa com a permeabilidade, pois estes tornam-se uma barreira ao fluxo, principalmente de líquidos, o que pode explicar os resultados encontrados neste trabalho.

FIGURA 22-RELAÇÃO ENTRE OS EXTRATIVOS TOTAIS E O FLUXO DE ÁGUA TOTAL (TXAT) NO EIXO TANGENCIAL, NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.



Uma possível explicação, também, é que os extrativos contidos nas células de vasos, e fibras podem ter bloqueado o fluxo da água livre nas pontoações, dificultando o fluxo entre as células (vaso-vaso, raio-vaso e fibras) na direção tangencial. Ward (1986) indicou que o bloqueio das pontoações se deve a extrativos e a tilos no caminho da transferência de fluidos. É possível observar que as substâncias presentes nas tiloses, já observadas na madeira dos três clones (Figura 17), obstruíram a passagem da água livre entre as células.

Rezende (2014), estudando a permeabilidade à água e ao ar de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, encontrou correlações significativas com os extrativos totais, principalmente para a madeira de *E. dunnii*. A quantidade e o tipo dessas substâncias acidentais podem influenciar positivamente ou negativamente no uso final da madeira. Para Jankowsky; Galvão (1979), os extrativos provenientes de folhosas possuem

correlação negativa com a umidade de equilíbrio do material e causam redução da higroscopicidade.

Ao avaliar as correlações por espécie, somente a madeira do clone 3 exibiu correlação com as taxas de secagem (TABELA 3, APÊNDICE 3). Os extrativos totais apresentaram correlação inversa e significativa com a taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa total (TXAT). Os demais clones não denotaram correlações significativas. Esses resultados indicam que uma maior quantidade de extrativos totais na madeira dessa espécie pode dificultar o fluxo da água aderida à parede celular e influenciar na taxa de secagem total, visto que o tempo para remover a água de impregnação é maior quando comparado à água livre. A partir desse resultado, é possível concluir que a madeira dessa espécie foi a que demonstrou a maior quantidade de extrativos totais (TABELA 7) e a menor porcentagem de tiloses (GRÁFICO 5), o que explica as correlações aferidas. É possível perceber que, provavelmente, essa espécie apresentou maior quantidade de substâncias aderidas à parede celular, que poderiam dificultar o movimento de difusão.

4.8.5 Lignina e Holocelulose

Com relação aos teores de lignina do lenho (APÊNDICE 2,), as correlações foram baixas e não significativas para todos os eixos ortotrópicos da madeira, com suas respectivas taxas de secagem. Ramires (2010) considera que a lignina pode favorecer a difusão de um fluido, ao reduzir a capacidade dos sítios reativos que dificultam o fluxo, o que pode elucidar algumas correlações positivas, mesmo que não significativas, encontradas no presente estudo. Rezende (2014) também encontrou correlações positivas e significativas com o teor de lignina e permeabilidade líquida na madeira de *E. dunni* e *E. grandis*. O autor ainda relata em seus resultados que um acréscimo no teor de lignina proporcionou aumento na permeabilidade da madeira de *E. saligna*.

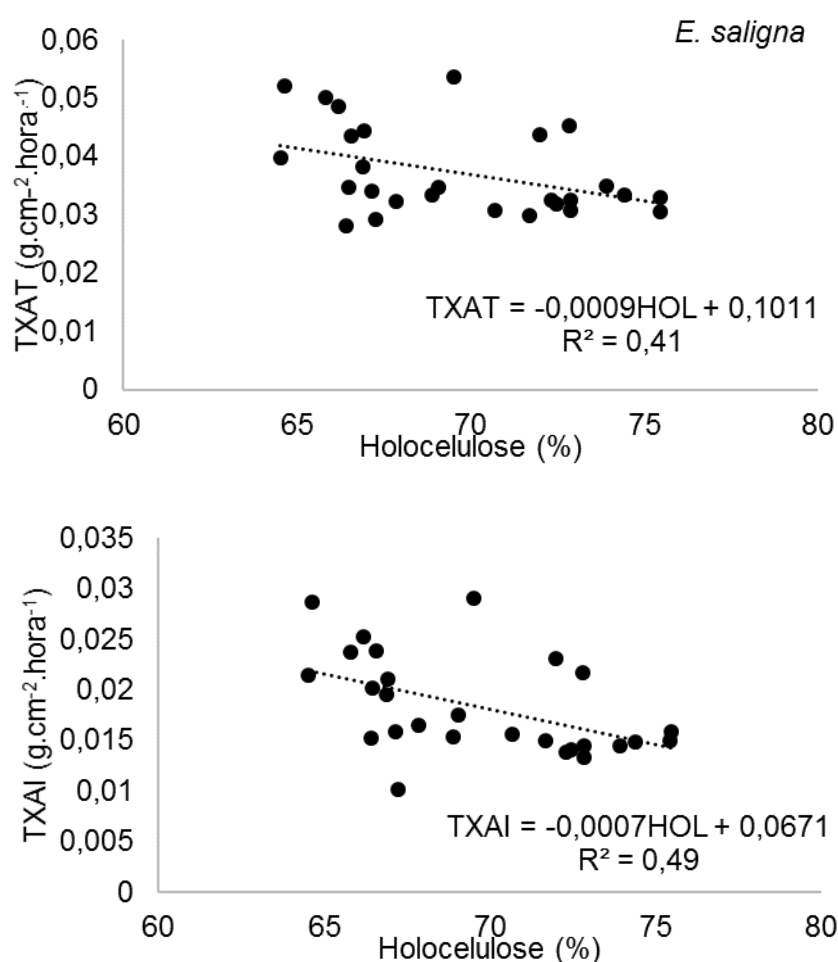
Silva (2007), estudando o conteúdo de lignina em madeira de folhosas, constatou que madeiras com alto teor de lignina oferecem maior passagem dos fluidos. Por outro lado, Baraúna et al. (2014), ao estudarem a permeabilidade da madeira de amapá, não encontraram correlações com o teor de lignina.

Para a madeira do clone 2 (*E. saligna*), foi encontrada correlação baixa e negativa entre a taxa da água livre (TXAL) e o teor de lignina solúvel (APÊNDICE 3). Nesse caso, uma maior quantidade de lignina solúvel diminuiria o fluxo da água livre na madeira. Esses resultados podem ser explicados em função dos altos teores de holocelulose encontrados anteriormente na madeira dessa espécie (TABELA 7), tendo em vista que o efeito do maior teor de carboidratos decorrentes da holocelulose pode ter influenciado nessa relação.

Os resultados para as correlações entre a holocelulose e as taxas de secagem para os diferentes eixos da madeira dos clones de eucalipto (APÊNDICE 2) também foram baixas, negativas e não significativas entre os eixos ortotrópicos e as respectivas taxas de secagem, o que indica que as variáveis podem não se relacionar. Não obstante, Yilgor et al. (2001); Baraúna (2010) consideraram que a redução no teor de hemicelulose pode favorecer o fluxo de água na madeira, principalmente no eixo longitudinal.

Para madeira do clone 2 (*E. saligna*), a holocelulose se correlacionou inversamente e significativamente com a taxa da água de impregnação (TXAI) e taxa da água total (TXAT) (APÊNDICE 2). Ou seja, quanto maior o teor de holocelulose para essa espécie, menor o fluxo de água total e água de impregnação, conforme pode ser visualizado na FIGURA 32.

FIGURA 23-RELAÇÃO ENTRE FLUXO TXAT E TXAI, E HOLOCELULOSE NA MADEIRA DO CLONE 2



FONTE: O autor (2020).

Observa-se, na Figura 32, que o maior coeficiente de determinação foi para a correlação da taxa da água de impregnação com a holocelulose. Esses resultados podem ser explicados pelo alto teor de holocelulose encontrado nas análises químicas dessa

espécie (Tabela 7), uma vez que a celulose presente na parede celular em maior quantidade pode dificultar o fluxo da água de impregnação (TXAI), levando maior tempo para sair da madeira, devido à maior quantidade de grupos hidroxílicos (OH). Segundo Galvão; Jankowsky (1985), inicialmente, deve-se considerar que os grupos (OH) são polares, isto é, que sua carga elétrica não é uniforme em toda a sua estrutura. Existe uma carga negativa ao lado do átomo de oxigênio e uma carga positiva ao lado do átomo de hidrogênio, onde esses compostos polares formam as ligações por pontes de hidrogênio ou ligações de hidrogênio. Ainda, conforme os mesmos autores, as pontes de hidrogênio que ocorrem nas regiões cristalinas das microfibrilas, onde as cargas residuais das hidroxilas das moléculas de celulose são mutuamente satisfeitas, torna aqueles grupos OH inacessíveis às moléculas de água nas condições naturais da madeira, o que pode explicar os resultados encontrados neste trabalho.

De acordo com Stamm (1964), acredita-se que a água penetre livremente nas regiões amorfas da celulose, onde é adsorvida pelos grupos hidroxílicos disponíveis. Na região cristalina, a água é adsorvida somente na superfície, devido à impossibilidade de penetração dos cristais formados pelas moléculas de celulose. Nesse sentido, ainda pode-se inferir que o movimento da água de impregnação influenciou significativamente essas relações da TXAT da madeira do *E. saligna* com a holocelulose – um aumento do teor de holocelulose pode diminuir o fluxo de água total na madeira, pois a remoção da água de impregnação é um processo de difusão que necessita de maior energia por meio da parede celular (SIAU, 1971).

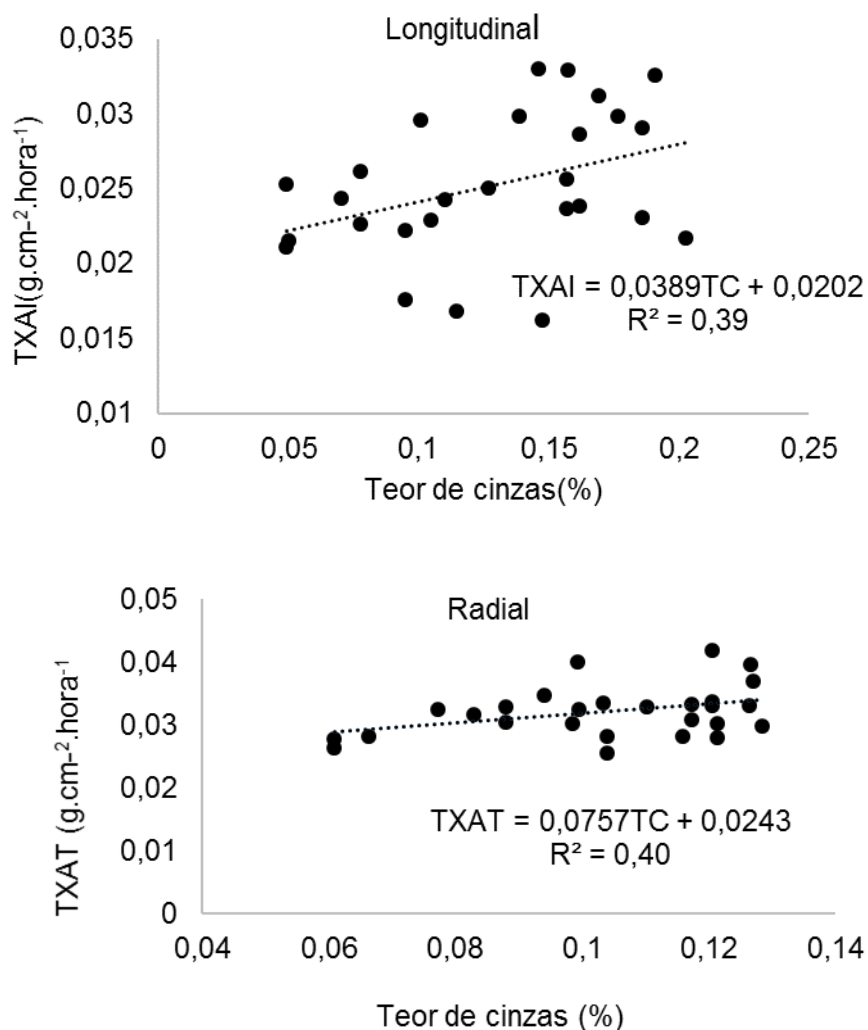
É importante registrar que, além da celulose, as hemiceluloses também devem ser contabilizadas dentro desses resultados, pois elas também possuem afinidade com a água. Conforme Wastowski (2018), estas não possuem regiões cristalinas, razão pela qual as ligações químicas e os grupos funcionais estão mais acessíveis onde os grupos hidroxílicos são mais abundantes, podendo dificultar o fluxo de água na madeira de eucalipto.

4.8.6 Teor de cinzas

No eixo longitudinal, uma correlação positiva e significativa (APÊNDICE 2) foi encontrada para a taxa da água de impregnação (TXAI) com o teor de cinzas, na madeira dos três clones. Um acréscimo no teor de cinzas da madeira de eucalipto pode aumentar o fluxo da água de impregnação, conforme se observa na FIGURA 33.

No eixo radial, a taxa da água total (TXAT) se correlacionou significativamente e de forma direta com o teor de cinzas (FIGURA 33).

FIGURA 24-RELAÇÃO ENTRE TEOR DE CINZAS E O FLUXO DA TXAI NO EIXO LONGITUDINAL E RADIAL NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*



FONTE: O autor (2020).

Percebe-se, na Figura 33, que o maior coeficiente de determinação encontrado foi para a correlação da taxa da água total com o teor de cinzas, na direção radial, para a madeira dos clones. Esses resultados indicam que, provavelmente, as células de raios e, também, os lúmens das células apresentaram componentes minerais que facilitaram o fluxo total da água.

Apesar de a madeira das três espécies apresentar baixos teores de cinzas (TABELA 7), é importante destacar que esses componentes influenciam no fluxo de água na madeira do eucalipto. Segundo Baraúna (2010); Yilgor et al. (2001), um acréscimo no teor de componentes minerais pode favorecer o fluxo de água na madeira. Os componentes minerais são caracterizados por estarem presentes na madeira, em forma de metais, sais, carbonatos podendo estar presentes da parede das células e nos lúmens (SJÖSTRÖM,

1993). Os metais estão parcialmente ligados aos grupos carboxila, presentes nas xilanas e nas pectinas, ou como metais pesados, como ferro e ímãs, mantidos pelos constituintes da madeira por forças complexantes. Tais íons metálicos só podem ser deslocados e lavados da madeira por ácidos aquosos ou agentes complexantes. Alguns dos sais metálicos são pouco solúveis ou estão presentes em regiões inacessíveis na estrutura da madeira. Devido a esses fatos, é impossível, ou pelo menos extremamente difícil, a madeira ficar completamente livre de íons metálicos (SJÖSTRÖM, 1993).

Rezende (2014) não encontrou correlações significativas para o teor de cinzas da madeira de *Eucalyptus* com o fluxo de água. Silva (2010) relatou que uma maior permeabilidade no alburno do *E. grandis* também correlacionou positivamente com o teor de cinzas. Este fornece informações da quantidade de substâncias inorgânicas (decorrentes da seiva bruta), que são constituídas, basicamente, por sulfatos, oxalatos, carbonatos e silicatos; como contra-íons mais comuns têm-se cálcio, potássio, magnésio e manganês (SILVA, 2010).

4.8.3 MODELOS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS

As discussões a seguir apresentam as análises de regressão e os ajustes dos modelos, em função das taxas de secagem da água livre (TXAL), da água de impregnação (TXAI) e da água total (TAXT), para cada eixo ortotrópico da madeira dos três clones de *Eucalyptus*, em função das propriedades químicas.

As análises de regressão também foram realizadas para cada espécie dos clones separadamente, em que, através do “Stepwise”, foram gerados modelos significativos que explicaram as relações das propriedades químicas com as respectivas taxas de secagem.

Na TABELA 16, apresentam-se as equações de regressão para a taxa da água total (TXAT) e a taxa da água de impregnação (TXAI), na direção longitudinal da madeira, em função das propriedades químicas.

TABELA 14-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA A DIREÇÃO LONGITUDINAL DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES.

Fluxo	Modelo	R ²
1TXAT	0,0517-0,0038. SAQ + 0,0579.TC + e	0,30
2TXAI	0,002559-0,00220.SAQ+ 0,04484.TC +e	0,30
3 TXAI	0,03407-0,00258.SAQ-0,00296 .LIGS+ 0,05337.TC +e	0,42
4 TXAI	0,00359-0,00264.EXCL-0,00146 .SAQ- 0,00344.LIGS+0,05772.TC +e	0,48
5 TXAI	0,03409-0, 00395.EXCL-0,00344. LIGS+ 0, 05645.TC+e	0,44

NOTA: TXAT= fluxo água total; TXAI= fluxo água de impregnação; LIGT: lignina total; SAQ: solubilidade em água quente; TC: teor de cinzas; LIGS: lignina solúvel; EXCL: extrativos em clorofórmio; R²: coeficiente de determinação e= erro do modelo. Modelos significativos a 95% de probabilidade.

Observa-se que, para a taxa da água total (TXAT) da madeira de eucalipto, a Equação 1 apresentou um coeficiente de determinação, mostrando que foi influenciada significativamente somente pelos extrativos em água quente (SAQ) e pelo teor de cinzas (TC), conforme a Tabela 16. Os extrativos solúveis em água quente apresentaram relação inversa com a taxa de secagem total da madeira, demonstrando, novamente, que os extrativos solúveis em água quente podem bloquear o fluxo de água na madeira de *Eucalyptus*. Por outro lado, o teor de cinzas no lenho favoreceu o fluxo de secagem total, denotando relação direta com a TXAT para essa direção.

Infere-se que a taxa da água de impregnação (TXAI) apresentou o maior número de modelos ajustados com as variáveis químicas, conforme apresentado na Tabela 16. Para a taxa da água de impregnação (TXAI), cabe destacar os modelos 4 e 5, por apresentarem maior R². A equação 4 apresentou maior R² e exibiu o maior número de variáveis químicas na equação. Neste modelo a taxa da água de impregnação foi explicada pelos extrativos solúveis em água quente, teor de cinzas, teor de lignina solúvel e extrativos em clorofórmio. Ainda é possível observar que na maioria dos modelos a lignina esteve presente de forma negativa, evidenciando que uma maior quantidade de lignina solúvel pode dificultar o fluxo dessa direção. A lignina por ser um componente hidrofóbico, presente na lamela média das células e também na parede celular apresenta grande quantidade de compostos aromáticos, nesse sentido no processo da hidrólise da lignina, a lignina solúvel, pode apresentar outros compostos como os ácidos urônicos e seus derivados. Segundo Zanuncio; Colodette (2011) é provável que muitos dos ácidos urônicos originalmente presentes na madeira, se tornem solúveis em ácido e terminem exatamente no filtrado na quantificação da lignina. Além disso ainda é possível analisar que a maioria das variáveis químicas correlacionaram com a taxa da água de impregnação (TXAI). Nesse sentido, observa-se que os extrativos em clorofórmio, solubilidade em água quente e a lignina insolúvel apresentaram relação inversa com a movimentação da água de impregnação. O teor de cinzas contribuiu significativamente com o fluxo total. Esses resultados reafirmam que a maior quantidade de substâncias de caráter polar e apolar, podem influenciar na movimentação de água na madeira de eucalipto, assim como maior quantidade de lignina pode dificultar o movimento de difusão.

Da mesma forma, na TABELA 17, estão ajustadas as equações de regressão para taxa da água livre (TXAL), taxa da água total (TXAT) e taxa da água de impregnação (TXAI), na direção radial, em função das propriedades químicas da madeira dos três clones *Eucalyptus*.

TABELA 15-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA A DIREÇÃO RADIAL PARA OS TRÊS CLONES.

Fluxo	Modelo	R ²
1 TXAT	0,03361-0, 00763.EXCL+ 0,00251 .SAQ +e	0,33
2 TXAT	0,04150-0, 00839.EXCL-0,00303 .SAQ-0,00308.LIGS +e	0,44

NOTA: EXCL: TXAT= fluxo água total; extrativos em clorofórmio; SAQ: solubilidade em água quente; LIGS: lignina solúvel; R²: coeficiente de determinação. e: erro do modelo. Modelos significativos a 95% de probabilidade.

Os resultados da Tabela 17 apresentam para TXAT, na direção radial do fluxo, dois modelos sendo o modelo 2 com o maior coeficiente de determinação. Dessa forma, para a movimentação de água total na direção radial da madeira, os extrativos em clorofórmio (EXCL), solubilidade em água quente (SAQ) e lignina solúvel contribuíram de forma negativa para o movimento de água na madeira, principalmente para o modelo dois que apresentou os melhores ajustes. Observa-se que, para os dois modelos apresentados, os extrativos e clorofórmio, solúveis em água quente e lignina solúvel podem diminuir a taxa total de água na madeira nessa direção. Os extrativos presentes nas células dos raios podem obstruir a passagem de água, influenciando tanto no movimento da água livre pela capilaridade como no da água de impregnação, o que pode dificultar o movimento da água na madeira nessa direção.

Na TABELA 18, estão ajustadas as equações de regressão para taxa da água livre (TXAL), taxa da água total (TXAT) e taxa da água de impregnação (TXAI), na direção tangencial, em função das propriedades químicas da madeira, para os três clones de *Eucalyptus*.

TABELA 16-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA A DIREÇÃO TANGENCIAL OS TRÊS CLONES.

Fluxo	Modelo	R ²
1 TXAL	0,07097-0,00360 .EXT+e	0,15
2 TXAT	0,00690-0,00266. EXET + 0,00458. EXCL – 0,00242.SAF+ 0,0920.TC+e	0,45
3 TXAI	0,0090-0,0006 .EXET1-0,00266 .EXCL+e	0,24

NOTA: TXAL: fluxo água livre; TXAT= fluxo água total; TXAI= fluxo água de impregnação; EXT: extrativos totais; EX.ET = extrativos em etanol; EXCL: extrativos em clorofórmio; SFA: solubilidade em água fria; TC: teor de cinzas R²: coeficiente de determinação. e:erro do modelo. Modelos significativos a 95% de probabilidade.

Da análise da Tabela 18, infere-se que somente uma equação para taxa da água livre (TXAL) na direção tangencial foi encontrada para madeira de eucalipto. A equação 1 apresentou baixo coeficiente de determinação, em que os extrativos podem dificultar a taxa da água livre; ou seja, um aumento na quantidade de extrativos pode diminuir o fluxo da água livre.

Conforme análise da TABELA 18, a TXAT apresentou o maior número de modelos, sendo que o que mais se destacou foi a equação 5, que incluiu, significativamente, o maior número de variáveis químicas. Os extrativos em etanol (EXET), extrativos em clorofórmio (EXCL), solubilidade em água fria (SAF) e teor de cinzas (TC) representaram, significativamente, a equação 2, denotando que os extrativos na madeira podem bloquear ou favorecer o fluxo. Diferente do eixo radial, a presença de lignina solúvel não alterou o fluxo de água nesta direção.

Ainda, como já visto anteriormente, o aumento do teor de cinzas pode favorecer o fluxo de água na direção tangencial na madeira dos três clones. Possivelmente os minerais podem obstruir aberturas como vasos e pontoações raio vasculares e intervasculares dificultando o fluxo de água nas direções longitudinal e radial, respectivamente. Estes bloqueios podem direcionar a movimentação da água no eixo tangencial. Para a taxa da água de impregnação (TXAI), é apresentado um modelo com baixo coeficiente de determinação (EQUAÇÃO 3). As variáveis desse modelo indicam que um aumento nos extrativos em etanol e em clorofórmio na madeira de eucalipto pode diminuir a taxa da água de impregnação.

Da mesma forma que os modelos anteriores, na TABELA 19 estão ajustadas as equações de regressão para taxa da água livre (TXAL), taxa da água total (TXAT) e taxa da água de impregnação (TXAI), em função das propriedades químicas, para madeira do clone 1 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

TABELA 17-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA MADEIRA DO CLONE 1.

Fluxo	Modelo	R ²
1 TXAL	0,07842-EXET.0,00905+ 0,02009 .EXCL+ e	0,49
2 TXAT	0,0389-0,00432 EXET+ 0,01047 .EXCL + e	0,53
3 TXAI	0,05323-0, 00251.EXET+0,00611 .EXCL-0,000525.HOL +e	0,61

NOTA: TXAL: fluxo água livre; TXAT= fluxo água total; TXAI= fluxo água de impregnação; EX.ET = extrativos em etanol; EXCL: extrativos em clorofórmio; HOL: holocelulose R²: coeficiente de determinação; e: erro do modelo. Modelos significativos a 95% de probabilidade.

Para a taxa da água livre (TXAL), a equação 1 representou melhor os ajustes, com um R² de 0,49. Nesse modelo, o teor de extrativos em etanol (EXET) demonstrou relação indireta com a taxa de secagem ao ar livre, podendo bloquear o fluxo de água nos lúmens das células – exceto para os extrativos em clorofórmio que, nesses modelos, apresentaram relação positiva com o fluxo da água livre. A inclusão dessa variável (EXCL) pode ser relacionada à baixa quantidade de extrativos não polares, os quais não impediram o fluxo de água livre na madeira dessa espécie.

Na taxa da água total (TXAT), referida na TABELA 19, a equação 4 apresentou coeficiente de determinação mais explicativo para esse modelo. Esses resultados reforçam a contribuição, de forma negativa, dos extrativos em etanol na saída total da água na madeira, em que o aumento no teor de substâncias extraíveis com esse solvente pode diminuir o fluxo total – com ressalva os extrativos em clorofórmio, que podem apresentar menor peso molecular e facilitar o fluxo total.

Na taxa da água de impregnação (TXAI), apresentado na TABELA 19, o melhor modelo ajustado é representado na equação 3. Ainda, pode-se inferir que os extrativos em etanol (EXET) e a holocelulose (HOL) contribuíram de forma negativa para o fluxo da água de impregnação. Tais resultados denotam que um aumento no teor de extrativos em etanol e no teor do holocelulose pode dificultar a saída da água aderida à parede celular para o lenho desse clone.

Na TABELA 20, estão ajustadas as equações de regressão para taxa da água livre (TXAL) e taxa da água de impregnação (TXAI), em função das propriedades químicas, para madeira do clone 2 (*E. saligna*).

TABELA 18-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA MADEIRA DO CLONE 2

Fluxo	Modelo	R ²
1 TXAL	0,0834+0,00493. SAQ-0,0085.LIGS +e	0,37
2 TXAI	0,00830-0,00222.SAQ-0,00226 .EXT +e	0,65

NOTA: TXAL: fluxo água livre; TXAI= fluxo água de impregnação; EXT: extrativos totais; SAQ: solubilidade em água quente; LIGS: lignina solúvel; R²: coeficiente de determinação; e: erro do modelo. Modelos significativos a 95% de probabilidade.

Na taxa da água livre (TXAL) (TABELA 20), houve influência pela solubilidade em água quente, representada pela Equação 1. A lignina solúvel exibiu relação negativa com a taxa de água livre, enquanto a solubilidade em água quente demonstrou relação positiva, o que confirma que o fluxo de água livre pode ser favorecido pela menor quantidade de lignina solúvel.

Na taxa da água de impregnação (TXAI), conforme TABELA 20, percebe-se que o teor de extrativos totais (EXT) e de extrativos em água fria (SAF) influenciou significativamente o fluxo de água de impregnação, representado pela Equação 2. Dessa forma, pode-se concluir que um aumento do teor de extrativos em água quente e totais pode diminuir o fluxo da água nessa espécie. Tais resultados indicam que os extrativos presentes na parede celular podem dificultar o movimento de difusão, tanto da água líquida como do vapor d'água (ENGELUND et al., 2013)

Na TABELA 21, estão ajustadas as equações de regressão para taxa da água total (TXAT) e taxa da água de impregnação (TXAI), em função das propriedades químicas, para madeira do clone 3 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*)

TABELA 19-EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA AS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS PARA MADEIRA DO CLONE 3

Fluxo	Modelo	R ²
1 TXAT	$-0,12780 + 0,00823 \cdot \text{SAF} - 0,00209 \cdot \text{HOL} + e$	0,38
2 TXAI	$-0,0978 + 0,00450 \cdot \text{SAF} - 0,00145 \cdot \text{HOL} + 0,0599 \cdot \text{TC} + e$	0,48

NOTA: TXAL: fluxo água livre; TXAT= fluxo água total; TXAI= fluxo água de impregnação; SFA: solubilidade em água fria; HOL: holocelulose; TC: teor de cinzas; R²: coeficiente de determinação; e: erro do modelo. Modelos significativos a 95% de probabilidade.

Na taxa da água total (TXAT), nota-se, na TABELA 21, que os extrativos solúveis em água fria influenciaram a taxa de água livre (SAF) e holocelulose (HOL), representados pela Equação 1. Nesse sentido, uma diminuição no teor de holocelulose poderia facilitar o fluxo de água total, sendo que os extrativos solúveis em água fria não dificultariam o fluxo.

Quanto à TXAI, observa-se na TABELA 21 que o modelo representado pelas variáveis solubilidade em água fria (SAF), holocelulose (HOL) e teor de cinzas (TC) foi melhor explicado com a Equação 2. Por conseguinte, o aumento no teor de extrativos em água fria e no teor de cinzas facilitaria o fluxo de água de impregnação; pelo contrário, o aumento na holocelulose diminuiria o fluxo da água de impregnação na madeira dessa espécie. Provavelmente, substâncias como ceras e ácidos graxos foram pouco presentes na parede celular, apresentando baixa influência na remoção da água de impregnação para essa espécie.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos para a madeira dos três clones estudados, conclui-se que:

- Porcentagem de cerne

Os clones apresentaram proporção de cerne compatível com o gênero, destacando-se a madeira do clone 1 com a maior porcentagem (71,54%). Na variação longitudinal, a madeira de eucalipto demonstrou tendência de redução da porcentagem de cerne.

- Propriedades físicas

Teor de umidade inicial: a madeira do clone 3 apresentou maior teor de umidade inicial. O teor de umidade inicial apresentou-se de forma homogênea no sentido base-topo do fuste, sem diferenças ao longo do fuste.

Massa específica básica e aparente: o clone 1 apresentou os maiores valores para massa específica básica ($0,569\text{g/cm}^3$) e aparente ($0,646\text{g/cm}^3$), sendo representados pela base ao longo do fuste.

Movimentação dimensional da madeira: destacando-se o clone 3, que apresentou as menores contrações volumétricas, apresentando menor massa específica, portando mais estabilidade dimensional entre as espécies estudadas, sendo indicado para uso em produtos de maior valor agregado.

- Propriedades químicas

O clone 3 se destacou com a maior porcentagem de extrativos totais, assim como com os maiores teores de lignina. No que tange à holocelulose, cabe destacar o clone 2 com os maiores valores médios. O teor de cinzas foi baixo para madeira dos três clones, onde clone 3 denotou maior porcentagem no meio, no sentido base-topo do fuste.

- Permeabilidade ao ar e tiloses

A madeira do clone 3 foi a mais permeável. A posição longitudinal do fuste influenciou na permeabilidade da madeira dos três clones, com tendência de aumento no topo.

O clone 3 apresentou a menor porcentagem de tiloses, e maior porcentagem de vasos na madeira.

- Taxas de secagem da madeira nas direções ortotrópicas

As curvas de secagem apresentaram comportamento polinomial para madeira dos três clones. O eixo longitudinal apresentou maior taxa de secagem seguido do radial e tangencial, exceto na TXAI para madeira do clone 2, onde o tangencial apresentou maior taxa de secagem.

- Taxas de secagem nas direções ortotrópicas por clone e sentido base-topo da árvore

O clone 1 apresentou maior taxa de água total, tanto para direção longitudinal como para direção radial. Na direção tangencial, a posição ao longo do fuste influenciou o fluxo nessa direção, sendo a base do clone 2 com a maior taxa de água total.

- Efeito das propriedades químicas no fluxo de água na madeira dos três clones

De maneira geral, os extrativos em diferentes solventes apresentaram boas correlações com as taxas de secagem na madeira dos clones, evidenciando a importância dos extrativos na movimentação da água na madeira de eucalipto.

Os diferentes solventes utilizados na quantificação dos extrativos foram satisfatórios para as correlações com as taxas de secagem, destacando-se os extrativos em clorofórmio e etanol com maior número de correlações.

A lignina apresentou correlação apenas na movimentação da água livre para a madeira do clone 2.

Uma maior quantidade de holocelulose reduziu a movimentação da água de impregnação e total para a madeira do clone 2.

O teor de cinzas pode favorecer a movimentação da taxa da água de impregnação e total.

- Modelos matemáticos

Na direção do fluxo o melhor modelo foi para a taxa de água de impregnação, para o eixo longitudinal. Na direção radial e tangencial os melhores modelos foram para taxa de água total.

Os modelos desenvolvidos com a taxa de secagem para os três clones, favoreceram no desenvolvimento de programas de secagem visando maior qualidade da geração de produtos de maior valor agregado, apresentando maior destaque o clone 1 e 2 com os maiores coeficientes de determinação.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Analisar a permeabilidade ao ar no sentido radial e tangencial para verificar sua influência na direção transversal na madeira de *Eucalyptus*.

Caracterizar os extrativos (qualitativamente) em diferentes solventes, avaliando o tipo de substância presente na madeira de cada espécie e a sua influência no fluxo de água, o que pode elucidar melhor as correlações.

Testar outros métodos de secagem e suas relações com as propriedades químicas da madeira.

REFERÊNCIAS

- AHMED, S. A.; CHUN, S. K. Permeability of *Tectona grandis* L. as affected by wood structure. **Wood Science and Technology**, v. 45, n. 3, p. 487–500, 2011.
- ALBINO, V. C. DO S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 803-811, out.-dez., 2012.
- ALFONSO, V.A. Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit, cultivadas no Brasil. São Paulo, 1987. 189p. **Tese (Doutorado)** – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- ALMEIDA, G.; HERNÁNDEZ, R. E. Changes in physical properties of yellow birch below and above the fiber saturation point. **Wood and Fiber Science**, v. 38, n. 1, p. 74–83, 2006.
- ALZATE, S. B. A. Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, e *E. grandis* x *E. urophylla*. 133 f. **Tese (doutorado em Recursos Florestais)**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; DE PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, , n. 68, p. 87–95, 2005.
- AMER, M.; KABOUCHI, B.; ALAMI, S. EL; et al. Water sorption/desorption kinetics and convective drying of *Eucalyptus globulus* wood. **Journal of the Korean Wood Science and Technology**, v. 47, n. 5, p. 557–566, 2019.
- ANDRADE, A. Indicação de programas de secagem convencional de madeiras. 72f. Dissertação (**Mestrado em Ciências Florestais**) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.
- ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; et al. Longitudinal and radial variation of extractives and total lignin contents in a clone of *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 283–291, 2011.
- ARAUJO C.D, MACKAY A.L, HAILEY J.R.T, WHITTALL K.P,. Proton magnetic resonance techniques for characterization of water in wood—application to white spruce. **Wood Science Technology** 26:101–113, 1992.
- AREA, M. C. Panorama de la indústria de celulosa y papel em Iberoamérica. Argentina: Red Iberoamericana de Docência e Investigación en Celulosa y Papel, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14929**: madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**, ano base 2010. Brasília: 2011. 140p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **BRACELPA**. Estatísticas Básicas. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/>. Acesso maio, 2007.

BALDIN, T.; MARCHIORI, J. N. C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira de *Eucalyptus Bentharii* Maiden & Cabbage, espécie promissora para o setor de celulose no sul do Brasil. **Balduínia**, n. 59, p. 10, 2017.

BAMBER, R.K. **The wood anatomy of Eucalyptus and papermaking**. Appita, v. 38, p. 210-216. 1985.

BARAÚNA, E. E. P. Permeabilidade das madeiras de Amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke) e Faveira (*Parkia gigantocarpa* Ducke). 2010. 69 p. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BARAÚNA, E. E. P.; LIMA, J. T.; VIEIRA, R. DA S.; SILVA, J. R. M. DA; MONTEIRO, T. C. Effect of anatomical and chemical structure in the permeability of “Amapá” wood. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 529–534, 2014a.

BARBOSA, C. G.; LIMA, J. T.; CARLOS, S.; TRUGILHO, P. F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 40–48, 2005.

BARBOSA, L. C. D. A.; MALTHA, C. R. A.; CRUZ, M. P. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência y Engenharia/ Science and Engineering Journal**, v. 14, n. 2, p. 13–19, 2005.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. **PRODEPEF**, 1976. 45p. (Série de Divulgação, 13).

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: Silvicultura. **Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo/SP, 8(28):726-731, fev., 1983.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *E. grandis*. In: **CONGRESSO ANUAL DA ABCP**. São Paulo, 1984. Anais. São Paulo, 1984

BATISTA, D. C. Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus*. 105f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

BATISTA, D. C. MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM ESCALA INDUSTRIAL PELO PROCESSO BRASILEIRO VAP HolzSysteme ®. **Universidade Federal do Paraná**, p. 339, 2012

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; CARLOS VINÍCIUS TABORDA SANTOS. Basic density and retractibility of wood clones of three. **Ciência Florestal**, vol.20, n.4, pp.665-674, 2010.

BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, out.-dez., 2017.

BENDTSEN BA. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal** 1978; 28(10):61-7.

BENITES, P. K. R. M.; LOPES, A. DA S.; GOUVÊA, A. DE F. G.; FABIANA CÂMARA DA SILVA; CARLA CAROLINE BORGES DE SOUZA. Caracterização tecnológica da madeira de híbridos de eucalipto irrigados e fertirrigados Technological. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1716-1728, out.- dez., 2018

BERTHOLD J, RINAUDO M, SALME´N L (1996) Association of water to polar groups—estimations by an adsorption model for ligno-cellulosic materials. **Colloid Surf A** 112:117–129

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 261p.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G.; ROCHA, V. Y. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 671-680, 2015.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S.C.S.; MOREIRA DE SILVA, J.R. - Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientia Forestales**, v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010

BRANDÃO, A.T.O. Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras. 1989. 100p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; QUIRINO, W. F.; BRITO, J; O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 2581-2588, 2011.

BRADIC, S. et al. Longitudinal air permeability of pinewood with beetle transmitted blue-stain. **Holz Als Roh-Und Werkstoff**, Berlin, v. 65, n. 3, p. 183- 185, June 2007.

BRAZ, R. L.; TARCÍSIO, J.; ROSADO, A. M.; et al. Caracterização anatômica , física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da madeira**, v. 5, n. 2, p. 127–137, 2014.

BRITO, A. S.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. DA S.; MISSIA DA SILVA, J. G.; RODRIGUES, B. P.; CARNEIRO, A. DE C. O. Effect Of Planting Spacing In Production And Permeability Of Heartwood And Sapwood Of *Eucalyptus* Wood. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. spe1, p. 1–9, 2019.

BUCHANAN, M.A. - Extraneous components of wood. In: BROWNING, B.L., ed. **The chemistry of wood**. New York, John Wiley, 1963. p.313-68

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. DE P.; COUTO, A. M.; et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 13–21, 2012.

BURGER, LM; RICHTER, HG. **ANATOMIA DA MADEIRA**. SÃO PAULO: NOBEL, 1991. 154P.

CAIXETA, R. P. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista árvore**, Viçosa, V. 27, N. 1, P. 43-51, 2003.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. EFEITO DA VAPORIZAÇÃO DE TORAS NA SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*. **Brazilian Journal of Forestry and Environment**, v. 11, n. 1, p. 7–13, 2004.

CARLOS MORESCHI, J. **Relação Água-Madeira e Sua Secagem**. , p. 121, 2014. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/AGUA-MADEIRA.pdf>>.

CHIES, D. Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L. 2005. 123p. **Dissertação** - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHOAT, B.; COBB, A. R.; JANSEN, S. Structure and function of bordered pits: new discoveries and impacts on whole-plant hydraulic function. **New Phytologist**, v. 177, n. 3, p. 608–626, Dec. 2008.

CHOONG, E. T. - Effect of extractives on shrinkage and other hygroscopic properties of ten southern pines. **Wood and fiber**, Madison, 1: 124-33, 1969.

CHRISTIERNIN, M.; HENRIKSSON, G. Structure of hemicelluloses Pine kraft cooking liquors. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY, 2003, **Sweden Proceedings**...Sweden: TAPPI, 8p., 2003.

CINIGLIO, G. Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla*. 69f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

COELHO, S.; JULIANE DA SILVA SAMPAIO; ANDRADE, F. Características químicas da madeira de **eucalyptus urophylla x eucalyptus grandis** no sentido base-topo. In...**EMBRAMEN**, n. Abril, 2018.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 461**: Maderas – método de determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972a.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 462**: Maderas – método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972b.

COMSTOCK, G. L. Directional permeability of softwoods. **Wood and Fiber**, Lawrence, v. 1, n. 4, p. 283-289, 1970.

COSTA, M. M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; FOELKEL, C.E.B. Avaliação preliminar do potencial de quatro madeiras de eucalipto na produção de polpa solúvel branqueada pela sequência OA(ZQ)P. **Árvore**, Viçosa,, 21: 385-392, 1997.

COSTA, A. C. S.; LEAL, C. S.; SANTOS, L. C.; et al. Propriedades da madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus camaldulensis*. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 8, n. 1, p. 10–20, 2017.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; DE MUNIZ, G. I. B. Within trees and between clones variations of the wood physical and mechanical properties of *Eucalyptus* hybrids. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, , n. 64, p. 33–47, 2003.

DADSWELL, H.E. **The anatomy of Eucalypt woods**. CSIRO (Aust.), Div. Appl. Chem. Techno. Pap. n. 66. 1972

DANIELSSON, S.; LINDSTRÖM, M. Influence of birch xylan adsorption during kraft cooking and softwood pulp strength. **Nord, Pulp Pap Res J**, v.20, n.4, p.436-441, 2005.

DELUCIS, R. DE A.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; et al. Segregação e variação radial de propriedades físicas da madeira juvenil e adulta de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo). **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 100, p. 549–556, 2013.

ELEOTÉRIO, J. R.; REICHERT, D.; HORNBURG, K. F.; MENEGUELLI, I. Massa específica e retratibilidade da madeira de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 329–336, 2015.

ENGELUND, E. T.; THYGESEN, L. G.; SVENSSON, S.; HILL, CALLUM A S. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 141–161, 2013.

ESTEBAN, L. G. et al. **La madera y sua natomía**. Coedición, Fundación Conde del Valle de Salazar/Ediciones Mundi-Prensa, Madri, 2003.

FARMER, R. H. **Chemistry in the utilization of wood**. Oxford: Pergamon, V. 9, 132 p. 1967

FENGEL, D.; WEGENER, O. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, 1984. 613p.

FENGEL, D.; WEGNER, G. **Chemistry, Ultrastructure, Reactions Wood**. New York, 1989.

FERREIRA, M. et alii - Adaptabilidade de espécies, fonte de semente e perspectiva do melhoramento do *Eucalyptus* spp. em Minas Gerais. **Boletim Informativo. IPEF**, Piracicaba, 6(16): EI/E42, jul. 1978.

FERNANDES, D. E.; GOMIDE, J. L.; LUIZ, J.; MARIA, C. Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação K. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 143-150, jun. 2011.

FERREIRA, K. A. C. .; MENDOZA, Z. M. S. H. .; RIBEIRO, E. S. .; BATISTA, B. M. F. .; SILVA, J. C. Análise dos compostos acidentais na madeira de *Tectona grandis*. **Biodiversidade**, v. 14, n. 1, p. 105–116, 2015.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 14 anos. **IPEF**, v. nd., n. 4, p. 65–89, 1972.

FERREIRA, C. R. et al. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1 - qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, abr. 2006.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FOELKEL, C. Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose Kraft. 122 p. 2011. Disponível em:

<http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosN_proces.pdf> Acesso em: 28 fev. 2020.

FOELKEL, C.E.B.; BUSNARDO, C.A.; DIAS, C. SCHMIDT, C.; SILVA, R.M.R. da.; VESZ, J.B.V. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. In: Silvicultura. **Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo/SP, 8(28): 726- 731, fev., 1983.

FRANÇA, M.C. Caracterização tecnológica de clones de eucalyptus para a produção de madeira maciça. 111f.Tese (doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

FRANÇA, M. C.; JUÍZO, C. G. F.; ROCHA, M. P. DA; et al. Qualidade da tora e da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria de madeira serrada. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 10, n. 1, 2019.

FREIRE, C. S. R.; SILVESTRE, A. J. D.; NETO, C. P.; CAVALEIRO, J. A. S. Lipophilic extractives of the inner and outer barks of eucalyptus globulus. **Holzforschung**, v. 56, n. 4, p. 372–379, 2002.

FREITAS, D. L.; CARVALHO, D. E.; BELTRAME, R.; et al. Estabilidade Dimensional da Madeira de Clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 435–439, 2016.

GELLERSTEDT, G.; EK, M.; HENRIKSSON, G. **Wood chemistry and biotechnology**. 2009.

GALVÃO, A. P. M; JANKOWSKY, I. P.; Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, v. 18, p. 1–33, 1979.

GATTO, D. A. et al. Proportion of juvenile wood of açoita-cavalo, pecan and London plane wood. **International Wood Products Journal**, v.4, n.1, p.33-36, 2012.

GEZICI-KOÇ, Ö.; ERICH, S. J. F.; HUININK, H. P.; VAN DER VEN, L. G. J.; ADAN, O. C. G. Bound and free water distribution in wood during water uptake and drying as measured by 1D magnetic resonance imaging. **Cellulose**, v. 24, n. 2, p. 535–553, 2017.

GLASSER, W. G.; KELLEY, S.S. Light stability of polymers: lignin. In: MARK, H. F. (Ed.). Encyclopedia of polymer science and engineering. New York: J. Willey. V. 8, p. 795-852, 1987.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Lignins: occurrence, formation, structure and reactions. New York: John Wiley & Sons, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 339–344, 2010.

GONÇALES J. C., BREDÁ, L. C. S., BARROS, J. F. M., MACEDO, D. G., JANIN, G. COSTA, A. F., VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis*

W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GONÇALEZ, J. C.; DOS SANTOS, G. L.; DA SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. D. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GUARIENTI, A.; ROSA, C. A. B.; PEDRAZZI, C.; CARDOSO, G. V.; SOUZA, M. C. H.; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B. Amostragem de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação de lignina Klason e extrativos totais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 33., 2000. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2000.

GUILMO, S. M. P.; AUER, C. G.; BARRICHELO, L. E. G. Efeito de fungos termófilos sobre madeira de *Eucalyptus saligna*. II. *Aspergillus* sp., *Dactylomyces thermophilus* Sopp., *Penicillium bacillisporum* Swift, *Rhizomucor* sp. e *Sporotrichum* sp. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 26/27, p. 29-34, 1993.

GITHIOMI, J. K.; DOUGAL, E. Analysis of heartwood – sapwood demarcation methods and variation of sapwood and heartwood within and between 15-year-old plantation grown *Eucalyptus regnans*. **International Journal of Applied Science and Technology**, v. 2, n. 8, p. 63 – 70, 2012.

HANSMANN, C.; GINDL, W.; WIMMER, R.; TEISCHINGER, A. Permeability of wood - A review. **Drevarsky Vyskum/Wood Research**, v. 47, n. 4, p. 1-16, 2002.

HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Carolina Agricultural Extension Service, 24p. 1965.

HART, C.A. **The Drying of Wood**. Raleigh, North Carolina Agric. Extension Service. 24p. 1966.

HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M.; et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* smith sob o efeito do espaçamento e da adubação bending. **Ciencia Florestal**, v. 12, n. 0103-9954, p. 147-152, 2002.

HASELEIN, C. R. et al. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 549p.

HERNÁNDEZ R.E; BIZON, M. (1994) Changes in shrinkage and tangential compression strength of sugar maple below and above the fiber saturation point. **Wood Fiber Science**, 26:360-369p.

HIGGINS, H. G. et al The density and structure of hardwoods in relation to paper surface characteristics and ether properties. **TAPPI**, Atlanta, v.56, p.127-131, 1973.

HILLIS, W.E. **Properties of Eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry**. Appita, v. 26, p. 113-121, 1972.

HILLIS, W.E. **Wood quality and utilization**. In: Eucalypts for wood production (eds. W. E. Hillis 17 and A.G. Brown): 259-289. Div. Appl. Chem. Techno. 1978.

HOFSTETTER K, HINTERSTOISSER B, SALME´N L. Moisture uptake in native cellulose—the roles of different hydrogen bonds: a dynamic FT-IR study using deuterium exchange. **Cellulose**,13:131–145, 2006.

IBÁ. Relatório 2017. **Relatório 2017**, p. 1–80, 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/mogi-guacu/panorama>> Acesso em: julho de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA) **Normas para procedimento em estudos de anatomia de madeira: I. angiospermae, II. gimnospermae**. Brasília; 1992. 19 p. Série Técnica n. 15.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2015.

IMARUMA, H. Natural Products of woody Plants, 1989. Cap. 6, Berlin, 1989.

JANKOWSKA, A.; KOZAKIEWICZ, P. Determination of fibre saturation point of selected tropical wood species using different methods. **Drewno**, v. 59, n. 197, p. 89–97, 2016.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V. DOS; ANDRADE, A. DE. Secagem da madeira serrada de eucalipto , 2003.

JANKOWSKY, I. P. Metodologia simplificada para a indicação de programas de secagem. 2009. 112f. Tese (Livre docência em Ciência e Tecnologia da Madeira)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

JÖNSSON, L. J.; MARTÍN, C. Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 103–112, 2016.

KEDROV, G. B. **Longitudinal water conductance**. , v. 19, p. 57–95, 2012.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v. 38, n. 85, p. 97–105, 2010.

KLOCK U, MUÑIZ G.I.B, HERNANDEZ J.Á, ANDRADE A.S. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: FUPEF; 2005. 85 p.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. DE. **Química da Madeira**. , p. 86, 2013. Disponível em: <<http://marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf>>.

KLITZKE, R. J. Uso do inversor de frequência na secagem de madeiras. 239f. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: José Tarcísio da Silva Oliveira, Nilton César Fiedler, Marcelo Nogueira. (Org.). *Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro*. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, v. 1, p. 271-366, 2007.

KOLLMANN, F.F.P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647p. 1959.

KOLLMANN; F: F: P; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood Science and technology**. Berlin, Springer Verlag, 1968, 592p.

KOLLMANN, F. P. et al. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, 703 p.

LEPAGE, E.S. Química da madeira. In: LEPAGE, E. S.(Ed). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, v.1. 1986.

LEHRINGER, C. et al. A review on promising approaches for liquid permeability improvement in softwoods. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 41, n. 4, p. 373-385, Oct. 2009.

LIEBL, O. A.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. DA. Influência dos Parâmetros Dimensionais da Pilha na Qualidade da Madeira de *Eucalyptus* spp. Submetida à Secagem ao Ar. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, 2017.

LIMA, T. G. DE; LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Variabilidade dos teores de extrativos solúveis em água quente e em água fria das madeiras de *Eucalyptus microcorys* e de *Eucalyptus pilularis*. **Brazilian Journal of Forestry and Environment**, 1997.

LINO, A. G. Composição Química e Estrutural da Lignina e Lipídios do Bagaço e Palha da Cana-De-Açúcar. 108f.Tese (Doutorado em agroquímica)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

LOIOLA, P.L. Secagem convencional da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.) sob diferentes condições.224 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 13-23, 2002.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; FILHO, M. T.; DIAS, C. T. DOS S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315–322, 2011.

LOULIDI, I. et al. The physical and mechanical properties of *Eucalyptus* hybrid *E. camaldulensis* x *E. grandis*: Comparison with its parental species. Research inventory: **International Journal of Engineering and Science**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2012.

LOURENÇON, T.; GATTO, D.; MATTOS, B.; DELUCIS, R. Physical properties of *Corymbia citriodora* wood in radial direction | Propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* no sentido radial. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 99, p. 369–375, 2013.

MANHIÇA A. A.; ROCHA, M. P. DA; JUNIOR, R. T. Eficiência operacional no desdobro de

pinus utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 339–346, 2013.

MARE´CHAL; CHANZY, H. The hydrogen bond network in lb cellulose as observed by infrared spectrometry. *J Mol Struct* 523:183–196, 2000.

MARRON, A.; NEVES, J. M. Aproveitamento de resíduos de serraria de árvores de *Eucalyptus grandis* de 15 anos. In: **CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL**, 2000, Puerto Iguazú. Anales... Puerto Iguazú, 2000. 1 CD-ROM.

MILOTA, M. R. et al. Gas permeability of plantation Loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.27, n. 1, p.34-40, 1995.

MONTEIRO, T. C. **Efeito da anatomia no fluxo da água em madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 130 f. Tese (Doutorado em Ciencia e Tecnologia da madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T. Water Flow Through the Pits in *Eucalyptus urophylla* Wood. **Floresta e Ambiente**, Seroopédica, v. 27, n. 2, 2020.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; REINALDO MOREIRA DA SILVA, J.; et al. Scientia Forestalis Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* Effect of wood anatomical elements in log drying of *Eucalyptus* and *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 493–505, 2017.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; SILVA, J. R. M. DA; et al. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, 2017.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. M. DA; REZENDE, R. N.; KLITZKE, R. J. Water flow in different directions in *Corymbia citriodora* wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 22, n. 3 SE-Article, 2020.

MONTEIRO, T.; LIMA, J.; SILVA, J.; ZANUNCIO, A. J.; BARAÚNA, E. Water Flow Evaluation in *Eucalyptus* and *Corymbia* Short Logs. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, 2018.

MORAIS, S. A. L. DE; NASCIMENTO, E. A. DO; MELO, D. C. DE. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 461–470, 2005.

MOUCHOT, N.; THIERCELIN, F.; PERRE, P.; ZOULALIAN, A. Characterization of Diffusionnal Transfers of Bound Water and Water Vapor in Beech and Spruce. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 8, n. 3, p. 139–147, 2006.

MOREIRA, W.S. Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. 1999. 107f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MÜLLER, B.V. Qualidade e produção de madeira serrada de eucaliptos resistentes a geada. 112 f. Tese (doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

MUÑIZ, G.I.B. Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L. 1993.

235f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

NASCIMENTO, T. M.; MONTEIRO, T. C.; BARAÚNA, E. E. P.; MOULIN, J. C.; AZEVEDO, A. M. Drying influence on the development of cracks in Eucalyptus logs. **BioResources**, v. 14, n. 1, p. 220–233, 2019.

NEARN, W. J. - Effect of water soluble extractives on the volumetric shrinkage and equilibrium moisture content of eleven tropical and domestic woods. Mont Alto, Pennsylvania State University, 1955. 37p.

NISGOSKI, S.; GRACIELA INES BOLSON MUÑIZ; KLOCK, U. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, vol.8 n.1 Santa Maria, 1998.

OLIVEIRA, J. T. S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. 1998. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, A. C. Secagem de toras de eucalipto. 2015. 71f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

OLIVEIRA, J. G. L. DE; OLIVEIRA, J. T. DA S.; ABAD, J. I. M.; et al. Parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de eucalipto que cresceu em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.3, p.559-567, 2012.

OLIVEIRA, J. T. DA S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115–127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. DA S.; SILVA, J. DE C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 381–385, 2005.

OLIVEIRA, J. T. DA S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 929–936, 2010.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 722 p., 1980.

PALERMO, G. P. DE M.; LATORRACA, J. V. DE F.; CARVALHO, A. M.; CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Anatomical properties of *Eucalyptus grandis* wood and transition age between the juvenile and mature woods. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, n. 6, p. 775–780, 2015.

PEDRAZZI, C.; COLODETTE, J. L.; DE OLIVEIRA, R. C.; et al. As xilanas nas propriedades de polpas marrons de eucalipto. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 9, p. 1585–1591, 2015.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.

PENÍN, L.; LÓPEZ, M.; SANTOS, V.; ALONSO, J. L.; PARAJÓ, J. C. Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review. **Bioresource Technology**, v. 311, p. 123528, 2020.

PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; et al. Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 98, p. 217–225, 2013.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Documentos**, 38: **Embrapa Florestas**. n. June, p. 113, 2000.

PERRÉ, P.; MAY, B. The existence of a first drying stage for potato proved by two independent methods. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 4, p. 1134-1140.

PERTUZZATTI, A.; TREVISAN, R.; FIORESI, T.; et al. Influência do Diâmetro das Toras na Secagem ao Ar Livre de *Eucalyptus globulus* Labill. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 2, p. 191–201, 2013.

PETTERSEN, R. C. **The chemical composition of wood**. In: ROWELL, R. (Ed.). The chemistry of solid wood. Washington: American Chemical Society, 1984. p. 54-126.

POKKI, J. P. et al. Specific permeability of wood to water part 1: longitudinal specific permeability of steamed, impregnated, and kraft-cooked wood. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 49, n. 5, p. 2144-2154, Mar. 2010.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. DE F.; CARVALHO, A. M. de. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. DE. Effect of wood basic density on kraft pulp quality of hybrid *Eucalyptus grandis* W . Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S . T . Blake. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 901–909, 2004.

RAMIRES, E. C. Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glicol reforçadas com fibras naturais. 277f. Tese. (Doutorado em Físico-Química) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

REZENDE, R. N. Fluxo de ar e água nas madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni*. 98 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; E PAULA, L. E. DE R.; HEIN, P. R. G.; DA SILVA, J. R. M. Wood permeability in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunni*. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, p. 1–7, 2018.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. DE R. E; et al. Wood Permeability in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunni*. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, 2017.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. DA; et al. Air drying of logs from an *Eucalyptus urophylla* clone for carbonization use. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 565–572, 2010.

RIBEIRO, P. G.; GONÇALEZ, J. C.; GONÇALVES, R.; FAUSTINO TELES, R.; DE SOUZA, F. Ultrasound waves for assessing the technological properties of *pinus caribaea* var *hondurensis* and *eucalyptus grandis* wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 195–204, 2013.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para Serrarias. 2000. 185 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. DO. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, n. 1, p. 43–55, 2004.

RODRIGUES DE SOUZA, C.; BRUM, L. M.; PAULO DE AZEVEDO, C.; LIMA, R. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 65, p. 95–101, 2004.

ROUSSET, P.; FIGUEIREDO, C.; SOUZA, M. D.; QUIRINO, W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: **A statistical analysis approach. Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 3, p. 1890–1897, 2011.

SÃO TEAGO, G. B. Qualidade das madeiras de acácia e eucalipto provenientes de cultivo misto visando a produção de celulose. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

SAKAR; GORING D.A.I. Localization of lignins in wood cell walls. In T Higuchi, ed, **Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components**. Academic Press, New York, pp 51-62.1985.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, n. 5, p. 469–477, 2007.

SANTOS, P. V. DOS; SILVA, M. A. DA; JÚNIOR, A. F. D. S. Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook .) K . D . Hill & L . A . S . Johnson submetida ao processo de termorreificação Wood technological quality of *Corymbia citriodora* (Hook .). **Ciência Florestal**, p. 343–350, 2016.

SANTOS, R. C. DOS; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. M.; et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis** , n. 90, p. 221–230, 2011.

SANTOS, W. A.; GARCIA, R. A. Efeito da densidade e da cor na molhabilidade da superfície de madeiras de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 122, p. 245–255, 2019.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 32, n. 3, p. 227–235, 2010.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, 2003.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GARIBALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, 2004.

SENFT JF, BENDTESEN BA, GALLIGAN WL. Weak wood. **Journal of forestry**, (83):476-485, 1985.

SERENINE JUNIOR, L.; MELO, R. R.; CASTRO, V. G. DE; SOUZA, M. J. C. DE; BATISTA,

F. G. Qualidade da madeira juvenil de um híbrido clonal (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* – H13). **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 523, 2019.

SEVERO, E. T. D. QUALIDADE DA SECAGEM DE MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus dunni*. Ciência Florestal, Santa Maria, v.10, n.1, p.109-124, 2000.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição Química da Madeira de *Eucalyptus citriodora* em Função das Direções Estruturais. **Silva Lusitana**, v. 14, n. 1, p. 113–126, 2006.

SHIMOYAMA, V.R.S. (1990). Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp. Piracicaba. 93f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245p.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 131 p.

SILVA, D. A.; TRUGILHO, P. F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se a metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Cerne**, v.9, n.1, p.056-065, 2003.

SILVA, J. C. et al. Permeability measurements of brazilian *Eucalyptus*. *Materials Research*, Pittsburgh, v. 13, n. 3, p. 281-286, 2010.

SILVA, M.G. Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada. 2011.94p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) -Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA, M. R. Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, R. V.; SPINELLI, D.; BOSE FILHO, W. W.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G. O.; TARPANI, J. R. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. **Composites Science Technology**, Barking, v.66, n.10, p.1328-1335, 2006.

SILVA, J. D. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; DA SILVA OLIVEIRA, J. T.; DE CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Arvore**, v. 31, n. 6, p. 1081–1090, 2007.

SILVA, J. DE C.; MATOS, J. L. M. DE; OLIVEIRA, J. T. DA S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 455–460, 2005.

SILVA, M. R. DA; MACHADO, G. DE O.; DEINER, J.; CALIL JUNIOR, C. Permeability measurements of brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, v. 13, n. 3, p. 281–286, 2010.

SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. D. A.; GOMIDE, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO, D. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Arvore**, v. 30, n. 6, p. 1009–1016, 2006.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991.274p.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 293 p., 1993.

SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. **Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 316 p.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 218 p.,1972.

SOARES DIAS, B. C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. DA. Analysing the drying behavior of juvenile and mature eucalyptus saligna wood in drastic drying TEST. , v. 18, n. 4, p. 543–554, 2016.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Arvore**, v. 38, n. 3, p. 543–549, 2014.

SOUZA, A.P.; DELLA LUCIA, R.M.; RESENDE, G.C. Estudo da densidade básica da madeira de Eucalyptus microcorys F. Muell, cultivado na região de Dionísio, MG. **Revista Arvore**, 3(1):16-27, 1979.

STAMM A. J. A review of nine methods for determining the fiber saturation points of wood and wood products. **Wood Science**,4:114–128 ,1971.

STAMM, A. J. **Wood and aellulose sciance**. New York: Ronald Press Company, 1964. 549 p.

STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; SUSIN, F.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.19, n.4, p.461-472, 2009.

STONE J.E, SCALLAN A.M. Effect of component removal upon porous structure of cell wall of wood— 2. Swelling in water and fiber saturation point. **Tappi** 50:496–501p.1967.

SUN, R. C.; TOMKINSON, J. Comparative study of organic solvent and water-soluble lipophilics extractives from wheat straw I: yield and chemical composition. **Journal of Wood Science**, v. 49, p. 47-52, 2003.

SUSIN, F. Avaliação de programas de secagem para madeiras de eucalipto elaborados com base em testes prévios a alta temperatura. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SUSMEL, L. Density of Eucalyptus roslrata wood from the Agro. Pontino. Monti e Boschi v. 3, p. 75-78, 1952.

SUSMEL, L. Le pois specifique du bois d'Eucalyptus camaldulensis par rapport a quelques facteurs relatifs a l'individu et au milieu. Intern. Union Forest Research Organizations, 11th Congr., Rome, p. 1065-1075, 1953.

SUSMEL, L. The specific gravity of Eucalyptus rostrata Schlechth. Wood from the Pontine Campagna. Ital. Forest e Mont. v. 8, p. 222-227, 1954

TAGHIYARI, H. R.; KARIMI, A.-N.; PARSAPAJOUH, D.; POURTAHMASI, K. Study on the

Longitudinal Gas Permeability of Juvenile Wood and Mature Wood. **Special Topics & Reviews in Porous Media - An International Journal**, v. 1, n. 1, p. 31–38, 2010.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI T 204 cm-17**: Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 2017.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY(TAPPI). **TAPPI T 257 sp-14**: Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta, 2014.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY(TAPPI). **TAPPI T 222 om-15**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, 2015.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY(TAPPI). **TAPPI T 207 cm-17**: Water solubility of wood and pulp. Atlanta, 2008

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI T 211 om-16**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2016.

TERASHIMA, N. ; FUKUSHIMA K, H.E; TAKABE K (1993) Comprehensive model of the lignified plant cell wall. In HG Jung, DR Buxton, RD Hatfield, J Ralph, eds, *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. ASA, Madison, WI, pp 247-270

TEIXEIRA, R.U. Efeito da produtividade florestal e permeabilidade da madeira de *Eucalyptus* spp. na velocidade de secagem. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

TOBA, K; YAMAMOTO, H. YOSHIDA M. Mechanical interaction between cellulose microfibrils and matrix substances in wood cell walls induced by repeated wet-and-dry treatment. *Cellulose* 19:1405–1412, 2012.

TOLFO, A. L. T. et al. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p.101-110, 2005.

TOMASELLI, I. Secagem de madeira. Curitiba: FUPEF, 1981. 29p.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, p. 35-42, 1987.

TORRES, P. M.; PAES, J. B.; DO NASCIMENTO, J. W. B.; BRITO, F. M. S. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus Camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 109–117, 2016.

TRUGILHO, P. F. et al. Variação dimensional e densidade da madeira em árvore de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** São Carlos: IBRAMEM, 2002.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial da amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, jan./jun. 2005.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da Idade nas Características Físico-Químicas e Anatômicas da Madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. nd., n. nd., p. 1–

15, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. *Cerne*, V.7, N.2, P.104-114, 2001

URBINATI, C. V. et al. Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. *Acta bot. bras.* 17(3): 421-437. 2003.

VERMAAS, H. F. Drying eucalypts for quality: material characteristics, pré- drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. *Suid Afrikaanse Bosboutydskrif*, Pretoria, n. 174, p. 41-49, 1995.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. DA S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469–480, 2011

VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; MODES, K. S.; MORAIS, W. W. C. Qualidade do tratamento preservativo em autoclave para a madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 40, n. 96, p. 445–453, 2012.

YANG, G.; JAAKKOLA, P. Wood chemistry and isolation of extractives from wood. Literature study for BIOTULI project-Saimaa University of Applied Sciences. , p. 10–22, 2011.

YANG, L.; LIU, H. A Review of Eucalyptus Wood Collapse and its Control during Drying. **BioResources**, v. 13, n. 1, p. 2171–2181, 2018.

YANG, L.; LIU, H.; CAI, Y.; WU, Z. A novel method of studying the collapsed cell of eucalyptus wood using X-ray CT scanning. **Drying Technology**, v. 37, n. 12, p. 1597–1604, 2019.

YILGOR, N. et al. Physical, mechanical and chemical properties of steamed beech wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 51, n. 11, p. 89-93, Nov./Dec. 2001.

ZABLER S, PARIS O, BURGERT I, FRATZL, P. Moisture changes in the plant cell wall force cellulose crystallites to deform. **J Struct Biol**, 171:133–141, 2010.

ZANUNCIO, A. J.; GUIMARÃES CARVALHO, A.; FERNANDES DA SILVA, L.; et al. Predicting moisture content from basic density and diameter during air drying of *Eucalyptus* and *corymbia* logs. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 17, n. ahead, p. 0–0, 2015. Universidad del Bío-Bío.

ZANUNCIO, A. J. V.; CARVALHO, A. G.; DAMÁSIO, R. A. P.; et al. RELATIONSHIP BETWEEN THE ANATOMY AND DRYING IN *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* WOOD. **Revista Árvorevore**, v. 40, n. 4, p. 723–729, 2016.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, E. J. L. Teores De Lignina E Ácidos Urônicos Na Madeira E Polpa Correlation Between Levels of Lignin and Uronic Acids in. **Revista Árvore**, v. v.35, n. n.2, p. 341–347, 2011.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L.; CARNEIRO, A. DE C. O.; VITAL, B. R.; GOMES, F. J. B. Chemical composition of eucalipt wood with different levels of thinning. **Ciencia Florestal**, v. 23, n. 4, p. 755–760, 2013.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F.

Secagem de toras de eucalyptus e corymbia para uso energético. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 99, p. 353–360, 2013.

ZANUNCIO, A. J. V.; MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; ANDRADE, H. B.; CARVALHO, A. G. Drying Biomass for Energy Use of Eucalyptus urophylla and Corymbia citriodora Logs. **BioResources**, v. 8, n. 4, p. 5159–5168, 2013.

ZEN, L. R.; MAGALHÃES, T.; HENRIQUE, J.; KLITZKE, R. J. Drying methods to evaluate the quality of Eucalyptus sawn timber. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 14, n. 2, p. 22–30, 2020.

ZEN, L. R.; MONTEIRO, T. C.; SCHAEFFER, W.; KAMINSKI, J. M.; KLITZKE, R. J. Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 2, p. 291–298, 2019.

ZOBEL, B.J., VAN BUIJTENEN, J.P. Wood variation: its causes and control. New York: **Springer-Verlag**, 1989. 363p.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. New York: Springer/Verlag, 1995. 337p.

WANGAARD, F. F.; GRANADOS, L. A. The effect of extractives on water vapor sorption by wood. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 1, p. 253- 277, 1967.

WASTOWSKI, A. D. **Química da Madeira**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2018.

WILKES, J.; D. ABBOTT. Influence of the rate of tree growth on the anatomy of eucalypt species. **Appita**, v. 37, p. 231-232, 1983.

WILKES, J. Variations in wood anatomy within species of Eucalyptus. **IAWA Bulletin**, v. 9, n. 1, p.13-23, 1988.

APÊNDICE 1 – ANÁLISES DE VARIÂNCIA

TABELA 1 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PORCENTAGEM CERNE PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.

Anova - Porcentagem de Cerne				
FV	GL	SQ	QM	F
Clone	2	1204,08	602,04	52,87**
Posição	2	76,55	38,27	3,36 ns
Clone x Posição	4	91,09	22,77	2 ns

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey. ns: não significativo

TABELA 2 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE UMIDADE INICIAL PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

FV	GL	SQ	QM	F
Clone	2	3456,1	1728,05	34,68**
Posição	2	405,32	202,66	4,061*
Clone x Posição	4	180,69	45,17	0,90 ns

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significativo.

TABELA 3- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

Anova – Massa específica básica g/cm ³				
FV	GL	SQ	QM	F
Clone	2	0,019	0,009	12,64**
Posição	2	0,004	0,002	ns
Clone x Posição	4	0,01	0,002	3,36*

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significativo.

TABELA 4- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MASSA ESPECÍFICA A 12% PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

Anova – Massa específica básica g/cm³				
FV	GL	SQ	QM	F
Clone	2	0,40317	0,20159	68,2793**
Posição	2	0,00007	0,00004	0,0127*
Clone x Posição	4	0,02868	0,00717	2,4288*

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significativo.

TABELA 5- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A CONTRAÇÃO, TANGENCIAL, RADIAL, LONGITUDINAL, VOLUMÉTRICA E COEFICIENTE DE ANISOTROPIAS PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

FV	GL	QM				
		β_{tg}	β_{rd}	$\beta_{long.}$	$\beta_{vol.}$	C.A
Clone	2	131,15*	109,08*	0,22*	459,25*	0,23*
Posição	2	47,17*	5,99*	0,07*	24,98*	0,32*
Clone x Posição	4	3,29*	0,66 ns	0,14*	4,26 ns	0,021*
R²	-	0,65	0,54	0,39	0,64	0,45
CV%	-	9,73	18,2	32,38	10,5	25,91

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significativo.

TABELA 6- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS EXTRATIVOS EM DIFERENTES SOLVENTES, PARA OS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

FV	GL	QM				
		Etanol	Clorofórmio	Água quente	Água fria	Extrativos totais
Clone	2	1,35*	0,33*	0,34*	1,97*	25,06*
Posição	2	0,27*	0,20*	0,08*	0,22*	6,08*
Clone x Posição	4	0,14*	0,23*	0,04*	0,31*	2,76*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significativo.

TABELA 7 –RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEOR DE LIGNINA INSOLÚVEL, LIGNINA SOLÚVEL, TOTAL HOLOCELULOSE E TEOR DE CINZAS PARA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

FV	GL	QM				
		Lig. insolúvel	Lig solúvel	Lig Total	Holocelulose	Cinzas
Clone	2	101,51*	1,06*	123,13*	295,54*	0,007*
Posição	2	43,98*	0,84*	49,04*	88,74*	0,003ns
Clone x Posição	4	5,4ns	0,26ns	4,61ns	12,02ns	0,004*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significativo

TABELA 8- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A PERMEABILIDADE AO AR DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*

Anova – Permeabilidade ao ar				
FV	GL	SQ	QM	F
Clone	2	2,83	1,42	16,03**
Posição	2	1,46	0,73	8,03**
Clone x Posição	4	1,72	0,42	4,85**

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) ns: não significat

TABELA 9- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A PORCENTAGEM DE VASOS COM TILOSE E SEM TILOSE NA MADEIRA DOS TRÊS CLONES.

FV	GL	VALOR DE F	
		Vasos %	Vasos com tiloses%
Clone	2	49,26**	52,7645**
Posição	2	0,0257ns	0,0142*
Clone x Posição	4	1,14ns	1,37ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$), ns: não significativo.

TABELA 10- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A TAXA DE ÁGUA LIVRE, IMPREGNAÇÃO E TOTAL PARA DIREÇÃO LONGITUDINAL DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.

FV	GL	F (TXAL)	F v-0 (TXAI)	F 30-0 (TXAT)
Clone	2	0,704*	0,17*	0,05*
Posição	2	0,036*	0,09*	0,12*
Clone x Posição	4	0,016*	0,12*	0,23*

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$), ns: não significativo.

TABELA 11- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A TAXA DE ÁGUA LIVRE, IMPREGNAÇÃO E TOTAL PARA DIREÇÃO TANGENCIAL DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.

FV	GL	F (TXAL)	F v-0 (TXAI)	F 30-0 (TXAT)
Clone	2	0,19*	0,0045*	0,00066*
Posição	2	0,058*	0,000046 ns	0,000002 ns
Clone x Posição	4	0,008*	0,00029*	0,00004 ns

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$), ns: não significativo

TABELA 12- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A TAXA DE ÁGUA LIVRE, IMPREGNAÇÃO E TOTAL PARA DIREÇÃO RADIAL DA MADEIRA DOS TRÊS CLONES DE *Eucalyptus*.

FV	GL	F (TXAL)	(TXAI)	F 30-0 (TXAT)
Clone	2	0,09*	0,015*	41,97 ns
Posição	2	0,026*	0,00008ns	59,75 ns
Clone x Posição	4	0,009 ns	0,0004*	250,43 *

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$), ns: não significativo.

TABELA 4. TABELA 20-CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA PELO INSTITUTO BRAS 7ILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA) PARA A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Classificação	Massa específica básica
Leve	< 0,50
Média	0,51 A 0,72
Alta	>0,73

FONTE: IBAMA (2015).

APÊNDICE 2 – CORRELAÇÕES DE PEARSON

TABELA 2- CORRELAÇÕES LINEARES DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS TAXA FLUXO DE ÁGUA E PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA PARA AS DIREÇÕES ORTOTRÓPICAS, E A SIGNIFICANCIA DAS CORRELAÇÕES

TAXAS (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	Propriedades Químicas										
	MEB	EXET	EXCL	SAQ	SAF	EXT	LIGINS.	LIG.SOL	LIG. T.	HOLO	TC
Longitudinal											
TXAL	0,58*	0,14ns	-0,14ns	-0,25ns	-0,30ns	-0,14ns	0,36ns	0,18ns	0,37ns	-0,32ns	-0,12*
TXAT	0,31ns	-0,02ns	-0,23ns	-0,38*	-0,12ns	-0,32ns	0,04ns	-0,08ns	0,01ns	-0,07ns	0,31ns
TXAI	0,06ns	0,11ns	-0,28ns	-0,31ns	0,01ns	-0,26ns	-0,12ns	-0,19ns	-0,16ns	0,22ns	0,39*
Radial											
TXAL	-0,22ns	0,05ns	-0,21ns	0,04ns	0,14ns	-0,02ns	-0,21ns	-0,05ns	-0,20ns	-0,17ns	0,02ns
TXAT	0,25ns	-0,04ns	-0,45*	0,29ns	-0,10ns	0,25ns	0,10ns	-0,18ns	0,05ns	-0,12ns	0,40*
TXAI	0,02ns	-0,04ns	-0,16ns	-0,06ns	0,06ns	0,15ns	0,08ns	-0,09ns	0,05ns	-0,09ns	0,06ns
Tangencial											
TXAL	-0,12ns	-0,12ns	0,10ns	-0,30ns	-0,26ns	-0,40*	-0,05ns	0,18ns	-0,02ns	0,13ns	0,22ns
TXAT	0,06ns	0,15ns	0,42*	-0,12ns	-0,13ns	0,01ns	-0,12ns	-0,16ns	-0,15ns	0,12ns	0,24ns
TXAI	0,04ns	0,19ns	0,39*	-0,01ns	-0,05ns	0,19ns	-0,05ns	-0,21ns	-0,08ns	0,01ns	0,11ns

FONTE: O autor (2020)

NOTA: MEB massa específica básica; EXET: extrativos em atenal; EXCL: extrativos em clorofórmio; SAQ: solubilidade em água quente; SAF: solubilidade água fria; LIG.I: lignina insolúvel; LIG.S: lignina solúvel; HOL: holocelulose; TC: teor de cinzas; TXAL: taxa de água livre; TXAT= taxa de água total; TXAI= taxa da água de impregnação; ns: não significativo; *significativo.

APÊNDICE 3 – CORRELAÇÕES DE PEARSON

TABELA 3- CORRELAÇÕES LINEARES DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS TAXAS FLUXO DE ÁGUA E PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA PARA OS CLONES, E A SIGNIFICANCIA DAS CORRELAÇÕES

TAXAS (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	Propriedades Químicas										
	MEB	EXET	EXCL	SAQ	SAF	EXT	LIGINS.	LIGSOL	LIGT	HOLO	TC
Clone 1											
TXAL	-0,08ns	-0,53*	0,34ns	-0,15ns	0,11ns	-0,12ns	-0,08ns	0,14ns	-0,06ns	0,08ns	0,17ns
TXAT	-0,12ns	-0,53*	-0,53*	-0,11ns	0,19ns	0,26ns	-0,10ns	0,05ns	-0,09ns	0,09ns	0,33ns
TXAI	-0,10ns	-0,36ns	-0,65*	0,01ns	0,39*	0,28ns	0,08ns	0,06ns	0,09ns	-0,13ns	0,31ns
Clone 2											
TXAL	0,11ns	-0,33ns	0,12ns	0,46*	0,31ns	0,30ns	-0,01ns	-0,46*	-0,08ns	-0,02ns	-0,24ns
TXAT	-0,08ns	-0,39*	0,60*	-0,76*	-0,45*	-0,05ns	0,24ns	-0,05ns	0,22ns	-0,41*	0,13ns
TXAI	-0,03ns	-0,33ns	0,64*	-0,74*	-0,45*	-0,19ns	0,30ns	0,08ns	0,29ns	-0,49*	0,17ns
Clone 3											
TXAL	0,22ns	-0,16ns	0,15ns	0,19ns	0,44ns	0,34ns	0,02ns	0,24ns	0,08ns	-0,19ns	0,18ns
TXAT	0,06ns	-0,20ns	0,02ns	0,08ns	0,43ns	0,72ns	-0,28ns	-0,10ns	-0,28ns	0,13ns	0,30ns
TXAI	0,04ns	-0,14ns	-0,02ns	0,08ns	0,21ns	0,78ns	-0,29ns	-0,20ns	-0,32ns	0,17ns	0,36ns

FONTE: O autor (2020)

NOTA: MEB massa específica básica; EXET: extrativos em etanol; EXCL: extrativos em clorofórmio; SAQ: solubilidade em água quente; SAF: solubilidade água fria; LIG.I: lignina insolúvel; LIG.S: lignina solúvel; HOL: holocelulose; TC: teor de cinzas; TXAL: fluxo água livre; TXAT= fluxo água total; TXAI= fluxo água de impregnação; Clone 1: *E. urophylla* *E. grandis*; Clone 2: *E. saligna*; Clone 3: *E. grandis* x *E. camaldulensis*; ns: não significativo; *significativos

ANEXO 4- PROCEDIMENTO PARA EXTRAÇÃO DA LIGNINA

Lignina

1. Pesar 300mg da serragem livre de extrativos seca e transferir para erlenmeyer de 250mL;
2. Adicionar 3mL de H₂SO₄ 72% resfriado a 10 – 12°C;
3. Manter em banho-maria a 30 ± 2°C durante 1 hora, misturando frequentemente com auxílio de bastonete;
4. Retirar do banho-maria e adicionar 84mL de água destilada quente, transformando o H₂SO₄ 72% em H₂SO₄ 3%;
5. Colocar o erlenmeyer em autoclave, devidamente vedado com papel alumínio, a 118°C (27psi) durante 60 minutos;
6. Filtrar através de cadinho sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda a lignina do erlenmeyer para o cadinho;
7. Lavar com 700mL de água quente;
8. Levar o cadinho à estufa a 103 ± 2°C até peso constante;
9. Pesar o cadinho seco;
10. Calcular o teor de lignina residual (L.R.) através da fórmula:

$$L.R. (\%) = \left(\frac{\text{Massa a.s. final}}{\frac{0,3}{1 - \frac{E.T.}{100}}} \right) \times 100$$

Onde: Massa a.s. final: massa de lignina seca já descontando a tara do cadinho, em g.

11. Transferir o filtrado obtido nos itens 18 e 19 para balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com água destilada;
12. Preparar prova em branco, diluindo 3mL de ácido sulfúrico 72% para 1000 mL;
13. Utilizando cubeta de quartzo e a prova em branco, ajustar o espectrofotômetro em 0 de absorbância no comprimento de onda 215nm e 280nm;
14. Prosseguir com a leitura dos filtrados 27.
15. Calcular os teores de lignina solúvel (L.S.) e lignina total (L.T.) através das fórmulas:

$$L.S.(\%) = \left[\frac{4.53 \times L_{215} - L_{280}}{300 \times \left(\frac{0,3}{1 - \frac{ET.}{100}} \right)} \right] \times 100$$

$$L.T.(\%) = L.R.(\%) + L.S.(\%)$$